
BIODIÉSEL
Guía para producción a escala comunitaria

Rhizomatica Communications
241 S. 6th Street, #605
Philadelphia, PA 19106
USA
www.rhizomatica.org



Autores: Peter Bloom e Iván Hernández Baltazár
Edición: Brenda Bojórquez López y Daniela Bello López
Fotografías de interior: Rhizomatica Communications
Diseño editorial: Mónica Parra Hinojosa

Un agradecimiento especial a Valy N. por compartirnos su terreno para los experimentos y pruebas que forman la base de esta guía.

Compártenos tu experiencia aplicando el procedimiento al contacto:
https://www.rhizomatica.org/contact-us/
rhizomaticomms@gmail.com

Publicado con el apoyo de:



¡Por una bioeconomía restaurativa! ¡Por la sanación de la tierra!
¡Por la autonomía de las comunidades!
Oaxaca, México 2025





ÍNDICE





PRESENTACIÓN

Desde su creación, hace más de 15 años, la organización Rhizomatica ha trabajado en la búsqueda de formas innovadoras de apoyar la autonomía comunitaria a través de las tecnologías de la comunicación. En 2021, ampliamos el alcance de nuestro trabajo para incluir las infraestructuras energéticas comunitarias, ya que la fuerza motriz de nuestra misión es apoyar de forma creativa y sostenida la autonomía comunitaria.

Estamos convencidos de que, en los próximos años y décadas, la mayor parte del consumo energético será eléctrico; sin embargo, por ahora, muchos de nuestros aliados comunitarios no tienen acceso al capital necesario para participar en esta transición energética emergente. Mientras tanto, buscamos formas de que las comunidades pudieran crear cierta independencia energética para la maquinaria y los vehículos existentes, y el biodiésel era una opción viable. Aunque el biodiésel no es en absoluto una idea nueva, en Rhizomatica hemos estado investigando y experimentando sobre cómo integrar su producción a nivel comunitario dentro de un proceso más circular y restaurador.

Sabemos que utilizar tierras de cultivo para producir biodiésel no es una actividad sostenible, ya que prioriza la alimentación de los motores sobre la de las personas; sin embargo, tras años de trabajo con comunidades de todo el mundo, afectadas por el extractivismo y la minería, sabemos que, por desgracia, hay tierras y parcelas dentro de las comunidades que están demasiado contaminadas o degradadas para cultivar alimentos. Al investigar más sobre la producción de biodiésel, descubrimos que muchos cultivos productores de aceite también son buenos fitorremediadores, es decir, que son buenos para absorber los contaminantes del suelo. Así que empezamos a soñar: ¿y si la producción de biodiésel fuera el paso de un ciclo más completo que no sólo proporciona combustible y crea una modesta cantidad de ingresos, sino que también pudiera sanar la tierra?

Por lo pronto, este manual expone una forma muy práctica de empezar a producir biodiésel, mostrando un proceso productivo que reduce la contaminación y crea un valor a partir de un desecho.



INTRODUCCIÓN

Para la elaboración de este manual, partimos de un compromiso con la innovación y la sostenibilidad comunitaria; de un interés genuino en sumar estrategias que permitan a las comunidades participar en la bioeconomía restaurativa. Esto implica generar su propia energía, mientras contribuyen a la restauración de las tierras degradadas o contaminadas que, actualmente, no se pueden utilizar para producir alimentos.

Es también la búsqueda de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir los impactos asociados a ello, lo que motiva la difusión de un proceso que no solo promueve la producción de biodiésel, sino también la reutilización de desechos que, al ser aprovechados, representan un cambio positivo en el entorno.

Consideramos que la producción de biodiésel es una alternativa energética viable, que puede elaborarse de forma individual o colectiva. Es una actividad con mucho potencial para fortalecer no solo la autonomía energética, sino fomentar la bioeconomía local y regenerativa.

El presente manual es una guía dirigida a comunidades y pequeños productores con interés en la producción de biodiésel, en la cual se explican los pasos clave a seguir y las consideraciones necesarias para la elaboración de un combustible con un impacto ecológico menor.

Deseamos que este manual sirva de guía para desencadenar procesos de producción que promuevan el aprovechamiento de residuos, reduciendo el impacto ambiental de la disposición del aceite usado, así como de la producción y uso de los combustibles fósiles[1].

---

1 Los combustibles fósiles son recursos energéticos no renovables, formados a partir de la descomposición de materia orgánica durante millones de años. Los más utilizados son el petróleo, el gas natural y el carbón.

1. ¿QUÉ ES EL BIODIÉSEL?

El biodiésel es un combustible hecho a base de elementos vegetales, a diferencia del diésel común que se obtiene del petróleo. El biodiésel puede ser aprovechado por cualquier motor a diésel, sin necesidad de ser modificado, sea auto, camión, tractor, generador, etc. Además, el biodiésel se puede mezclar con el diésel de petróleo en la proporción deseada.



Imagen 1. *Peter Bloom agregando el biodiésel que elaboramos al tanque de una camioneta diésel.*

1.1 BENEFICIOS DEL BIODIÉSEL

Existen múltiples beneficios que destacan la importancia de producir biodiésel; a continuación, compartimos algunos de ellos:

- Evitar contaminación. Una enorme cantidad de aceite vegetal de cocina termina en el sistema de alcantarillado, en suelo y ríos, contribuyendo a la contaminación ambiental. Reutilizar el aceite vegetal usado como materia prima para producir biodiésel, le da una segunda vida a este desecho.

- Emitir menos emisiones contaminantes[2] a la atmósfera. Un estudio del Laboratorio Nacional de Argonne (EE.UU.) reveló que las emisiones del biodiésel 100% (B100) son un 74% inferiores a las del diésel de petróleo.

2 La emisión de gases contaminantes como el dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y óxido de azufre, se derivan de la combustión de carburantes (carbón y derivados del petróleo) para producir energía. La presencia de estos gases en la atmósfera favorecen el efecto invernadero y, por tanto, el calentamiento global de la Tierra.



- Ahorrar dinero. Aunque esto depende mucho de los precios de los insumos, los subsidios, el tiempo y la energía para su elaboración, en condiciones normales, el biodiésel hecho a partir de aceite vegetal reciclado debería ser siempre más barato que el diésel[3].

- Autosuficiencia y autonomía. Producir combustible propio es una palanca importante de cualquier estrategia de autosuficiencia y autonomía, tanto a nivel individual como colectivo.

- Obtención de subproductos. De su producción se obtiene glicerol como residuo, que se utiliza para la elaboración de otros productos como jabón, insecticidas orgánicos, fertilizante, desengrasante y glicerina.

- Útil para cualquier motor a diésel. La gran ventaja del biodiésel y, la razón por la que merece la pena tanto esfuerzo, es que puede utilizarse en cualquier motor a diésel estándar no modificado y en cualquier porcentaje: desde el B2, un biodiésel al 2% mezclado con un 98% de diésel de petróleo, hasta el biodiésel puro, conocido como B100.

1.2 HISTORIA DE BIODIÉSEL

Seguramente te suena la palabra diésel. Hoy en día, esta palabra nos hace pensar en un combustible común que utilizan los motores grandes como el de los camiones y tractores; tal vez, también te hace pensar en ruido, humo negro y contaminación. La palabra, en realidad, es el apellido del inventor de un motor de alto rendimiento de finales del siglo XIX: Rudolf Diesel. Y, aunque hoy en día, la mayoría del combustible para motores a diésel proviene de fuentes fósiles, como el petróleo, Rudolf Diesel era partidario de los combustibles vegetales, como demuestra la siguiente frase del año 1912 (ANEIA, 2014):

> ***“El uso de combustibles vegetales para los motores puede parecer insignificante hoy, pero estos combustibles pueden llegar a ser con el paso del tiempo tan importantes como el petróleo o el alquitrán de hulla lo son en el momento actual[4].”***

---

3 El diésel es un combustible derivado del petróleo.

4 Agronegocios, Industria alimentaria y Turismo de Naturaleza [ANEIA]. (2014). Petróleo vs biocombustibles. https://aneia.uniandes.edu.co/petroleo-vs-biocombustibles/

Rudolf Diesel imaginaba un mundo en que el transporte podría alimentarse de la biomasa proveniente del campo. Esta anécdota es importante porque muestra que el inventor del mismo motor tenía contemplado la autosuficiencia y autoproducción de combustible; pero la historia del motor y el combustible, como bien sabemos, apunta hacia otro lado: hacia los combustibles hechos a base de petróleo.

1.3 PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL EN EL MUNDO

La cantidad de biodiésel que se produce alrededor del mundo anualmente, suma aproximadamente 53,000,000,000 litros (L)[5]. Aunque esta producción parece una buena alternativa por ser menos contaminante, comparado con la versión proveniente de petróleo, la mayoría de los biocombustibles provienen de monocultivos masivos de soya, maíz y palma, los cuales desplazan a la producción de alimentos locales, degradan el suelo y utilizan cantidades desmedidas de agua y agroquímicos[6]. Pero no tendría que ser así debido a que existen alternativas para producir biodiésel sin desplazar a los cultivos alimentarios; por ejemplo, recuperando aceite vegetal usado, lo cual ya se hace a nivel comercial e industrial en algunos países. También es posible sembrar especies productoras de aceite en suelos no aptos para la agricultura, o especies cuyo consumo de agua es bajo.

5 Energy Information Administration [EIA]. (2022). Biofuels explained: Data for the United States for 2022. https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels/data-and-statistics.php

6 HLPE. (2013). Los biocombustibles y la seguridad alimentaria. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, Roma, 2013. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report-5_ES.pdf

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIÉSEL

El proceso de hacer biodiésel se basa principalmente en una reacción química llamada transesterificación, en la cual se mezcla aceite vegetal, o cualquier grasa de origen animal o vegetal, con metóxido (alcohol metílico y una base catalizadora como la sosa cáustica), obteniendo como resultado biodiésel, y como subproducto, glicerol (Figura 1).

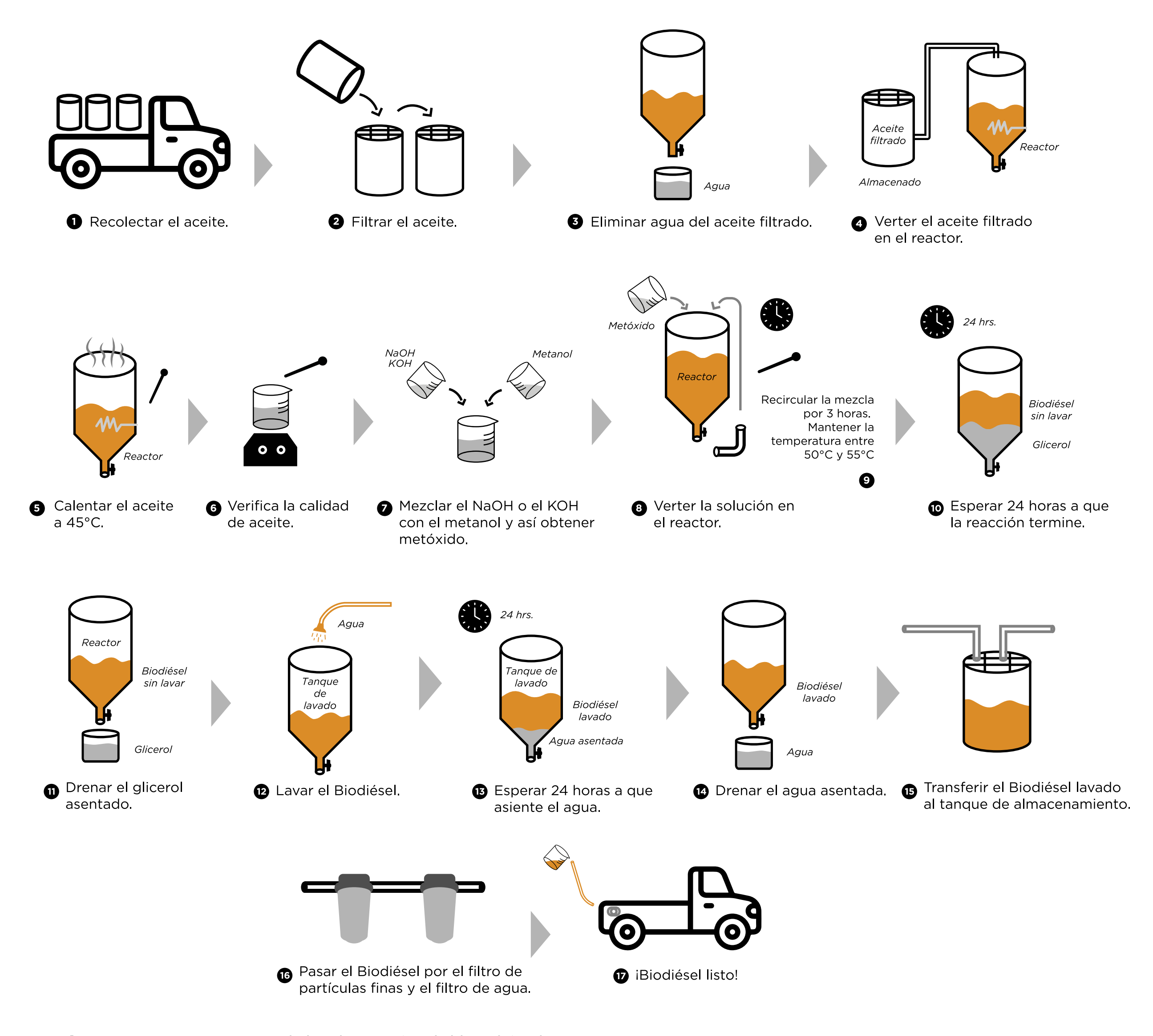


Figura 1. *Proceso general de obtención del biodiésel*.

2.1 PROCESO GENERAL DE OBTENCIÓN DEL BIODIÉSEL

El proceso comienza con la recolección y preparación del aceite vegetal usado, asegurando que sea apto para su transformación. Luego, se eliminan las partículas sólidas mediante filtrado y sedimentación, seguido de la eliminación del agua presente en el aceite, lo que es fundamental para evitar reacciones no deseadas. Una vez limpio y seco, el aceite es almacenado en condiciones adecuadas hasta su procesamiento.

El siguiente paso es la valoración y tratamiento del aceite, donde se determina la cantidad de reactivos necesarios para su conversión en biodiésel. Posteriormente, se procede a cocinar el biodiésel, combinando el aceite con un catalizador, y metanol en un reactor, promoviendo la reacción química de transesterificación. Una vez completada la reacción, se lleva a cabo la separación del glicerol, un subproducto del proceso, permitiendo la obtención del biodiésel.

Para eliminar residuos de la reacción y lograr la calidad adecuada, el biodiésel es sometido a un lavado en varias etapas. Luego, se realiza la verificación de calidad mediante pruebas que aseguran su correcta composición. Finalmente, el biodiésel es almacenado y filtrado antes de su uso, garantizando que cumpla con los estándares requeridos para su aplicación en motores diésel.

Para poder seguir este proceso es necesario considerar la adaptación de un taller de producción de biodiésel, que cuente con cinco estaciones de trabajo necesarias para llevar a cabo cada paso. Te invitamos a conocer el listado de lo que necesitas para acondicionar estas estaciones y el equipo que debe tener (Tabla 1). La descripción de cada estación y la construcción o adaptación de los equipos necesarios, se presentan en las secciones 2.2 y 5, y en la sección 4, las consideraciones para elegir el sitio donde establecer tu taller.

Tabla 1. Lista de materiales que se emplean para el establecimiento de las estaciones

Estación	Equipo a construir, adaptar o conseguir	Cantidad	Elemento específico	Sección del manual
Estación 1 Estación de recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado	Sistema para filtrar aceite	3	Garrafas con tapón, cada una con una capacidad de 20 litros (L).	Ver 5.1.1
		3	Cubetas con tapa, cada una con una capacidad de 20 L.	
		3	Filtros adaptados a cubetas (recomendado de 400, 200 y 100 micrones).	
	Tanque para almacenar aceite	1	Tambo de 200L de metal o plástico con tapa.	Ver 5.1.2
		2	Brida de 1 pulgada.	
		2	Coples de rosca de PVC hidráulico de 1 pulgada.	
		2	Válvulas de PVC hidráulico de 1 pulgada.	
		1	Tubo hidráulico de 1 pulgada.	
Estación 2 Estación de cocción de Biodiésel	Cuerpo del reactor	1	Tambo de metal con tapa y capacidad de 200 L.	Ver 5.2.1
		1	Embudo piramidal de lámina.	
		3	Codo de 90 grados de metal con rosca interna de 1 pulgada.	
		2	Conector de metal con rosca interna de 1 pulgada.	
		1	Tubo de acero con rosca externa, de 15 centímetros de longitud y de 1 pulgada de diámetro.	

Estación	Equipo a construir, adaptar o conseguir	Cantidad	Elemento específico	Sección del manual
Estación 2 Estación de cocción de Biodiésel	Sistema para recircular	1	Electro bomba de 0.5hp.	Ver 5.2.2
		2	Metro de tubo hidráulico de 1 pulgada.	
		4	Válvulas de 1 pulgada.	
		1	Conector hidráulico de rosca interior de 1 pulgada.	
		2	Conectores hidráulicos de rosca exterior de 1 pulgada.	
		3	"T" hidráulicas de 1 pulgada.	
		1	Codo hidráulico de 1 pulgada.	
		1	Pegamento azul para PVC.	
	Marca de nivel	1	Metro de manguera transparente de 1 pulgada.	Ver 5.2.3
		2	Adaptadores de 1 pulgada con rosca y espiga.	
		2	Abrazaderas de 1 pulgada.	
		2	Codos de acero de 1 pulgada.	
		1	Marcador indeleble.	
	Calentador	1	Resistencia para boiler/ calentador de agua con rosca de 1 pulgada, de 2000 W a 120V.	Ver 5.2.4
	Indicador de temperatura	1	Termómetro digital con cable y sensor, con capacidad para tomar lecturas entre 40°C y 110°C.	Ver 5.2.5
Estación 3 Estación de lavado de biodiése	Cuerpo del tanque de lavado	1	Tambo de metal con tapa y capacidad de 200 litros.	Ver 5.3.1 y 5.2.1
		1	Embudo piramidal de lámina.	
		3	Codos de metal con rosca interna de 1 pulgada.	
		2	Conectores de metal con rosca interna de 1 pulgada.	
		1	Tubo de acero con rosca externa, de 15 centímetros de longitud y de 1 pulgada de diámetro.	

Estación	Equipo a construir, adaptar o conseguir	Cantidad	Elemento específico	Sección del manual
Estación 3 Estación de lavado de biodiése	Sistema de recirculación en el tanque de lavado	1	Electrobomba de 0.5HP.	Ver 5.3.2
		2	Metro de tubo pvc hidráulico de 1 pulgada.	
		4	Válvulas de 1 pulgada.	
		1	Conector hidráulico de rosca interior de 1 pulgada.	
		2	Conectores hidráulicos de rosca exterior de 1 pulgada.	
		3	“T” hidráulicas de 1 pulgada.	
		1	Codo hidráulico de 1 pulgada.	
		1	Pegamento para PVC.	
	Sistema de entrada de agua	1	Manguera de plástico de 1 pulgada.	Ver 5.3.3
		1	Aspersor para manguera.	
	Equipo adicional para tanque de lavado	1	Resistencia para boiler/ calentador de agua con rosca de 1 pulgada, de 2000 W a 120V.	Ver 5.3.4
		1	Termómetro digital con cable y sensor, con capacidad para tomar lecturas entre 40°C y 110°C.	Ver 5.3.5
		1	Bomba burbujeador para acuario.	Ver 5.3.6
Estación 4 Estación de almacenamiento y filtrado final		1	Tambo de 200 L de plástico o metálico.	Ver 5.4
		1	Bomba de 0.5HP.	
		2	Metros de tubo de 1 pulgada.	
		1	Pichancha de 1 pulgada.	
		2	Conectores con rosca externa.	
		3	Codos de 1 pulgada.	
		1	“T” de 1 pulgada.	
		1	Válvula de 1 pulgada.	
		1	Tuerca unión de 1 pulgada.	

Estación	Cantidad	Elemento específico	Sección del manual
Estación 4 Estación de almacenamiento y filtrado final	1	Embudo de plástico para verter aceite a los autos.	Ver 5.4
	2	Conectores con rosca interna de 1 pulgada.	
	2	Filtros especializados para biodiésel (Bio-Flo 497 de 10 micrones para sólidos y Water-Block 496 para agua marca Goldenrod).	
Estación 5 Estación Laboratorio	1	Agitador magnético.	Ver 5.5.1
	1	Vaso de precipitado de 200 ml o un vaso para medir de 200 ml.	
	1	Pipeta de 10 ml o jeringa de 10 ml.	
	1	Pipeta de 10 ml y de 1 ml o como alternativa se pueden utilizar jeringas estándar y de insulina.	
	1	Bomba dosificadora para pipeta.	
	1	Báscula digital.	
	1	Sartén para probar el contenido del agua en el aceite.	
	1	Parrilla eléctrica.	
	5	Frasco con tapa de 100 ml.	

Una vez establecidas las cinco estaciones de trabajo para la elaboración del biodiésel, hemos definido 10 pasos a seguir, los cuales se presentan en la siguiente tabla, incluyendo los materiales y equipo a utilizar (Tabla 2). La descripción más detallada, la encontrarás en la sección 6.

Tabla 2. Lista de materiales que se emplean por pasos

Paso	Materiales, equipo y estación a utilizar	Sección	Estación
Paso 1 Recolectar y preparar el aceite vegetal usado como materia prima	Ropa y calzado que se pueda ensuciar. Embudo. Tanque y cubetas de la Estación 1. Estación de recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado.	Ver 6.1	Estación 1, Sección 5.1.1
Paso 2 Eliminar partículas sólidas del aceite vegetal usado	Cubetas de 20 L. Sistema para filtrar aceites de la Estación 1. Estación de recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado.	Ver 6.2	Estación 1, Sección 5.1.1 y 5.1.2
Paso 3 Eliminar agua del aceite vegetal usado	Sartén y parrilla de la Estación 5. Estación Laboratorio.	Ver 6.3	Estación 5, Sección 5.5
Paso 4 Almacenamiento del aceite vegetal usado	Tanque de almacenamiento de la Estación 1. Estación de recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado.	Ver 6.4	Estación 1, Sección 5.1.2
Paso 5 Valoración y tratamiento del aceite	Aceite vegetal recolectado para su transformación en biodiésel. Equipo de la Estación 5. Laboratorio. 1 gramo de catalizador alcalino hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH). 1 litro de alcohol isopropílico. 1 gotero de 30 ml de fenolftaleína 1%. 1 litro de solución de titulación de la base que decidamos emplear.	Ver 6.5 y Anexo 1	Estación 5, Sección 5.5
Paso 6 Cocinar biodiésel	Aceite bien filtrado y sin agua residua. 20 litros de Metanol. 1 kg de hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH). Báscula y termómetro de la Estación 5. Laboratorio. Equipo de la Estación 2. Estación de cocción de Biodiésel. Jarra y embudo de plástico.	Ver 6.6	Estación 2, Sección 5.2

Paso 7 Separación del glicerol	Cubetas de 20 L.	Ver 6.7	Estación 2, Sección 5.2
Paso 8 Lavado de biodiésel	Agua limpia. Estación 3. Estación de lavado de biodiésel. Burbujeador.	Ver 6.8, Anexo 2 y 3	Estación 3, Sección 5.3
Paso 9 Verificación de la calidad del biodiésel	1 litro de alcohol isopropílico. 200 ml Indicador bromophenol blue. Ácido clorhídrico .0100 Normal (1ml). Bomba dosificadora para pipeta. 1 vaso de precipitado de 200 ml. 1 pipeta de 10 ml y de 1 ml. 1 agitador magnético.	Ver 6.9, Anexo 4	Estación 5, Sección 5.5
Paso 10 Almacenamiento y filtrado final de biodiésel	Equipo de la Estación 4. Estación de almacenamiento y filtrado final.	Ver 6.10	Estación 4, Sección 5.4

2.2 INTRODUCCIÓN A LA INFRAESTRUCTURA PARA HACER BIODIÉSEL

En términos de infraestructura para hacer biodiésel, a grandes rasgos, se requiere un lugar con acceso a agua dulce, electricidad y saneamiento; que esté bien ventilado, pero protegido para evitar la exposición a los elementos como lluvia, fuertes vientos, polvo, luz solar; asimismo, que permita restringir el acceso de personas ajenas. Dentro de este lugar, hay que contemplar que nuestra superficie de trabajo debe delimitarse en cinco estaciones (Figura 2). En la sección 5 de este manual, se describe con más detalle cómo diseñar y equipar las estaciones.

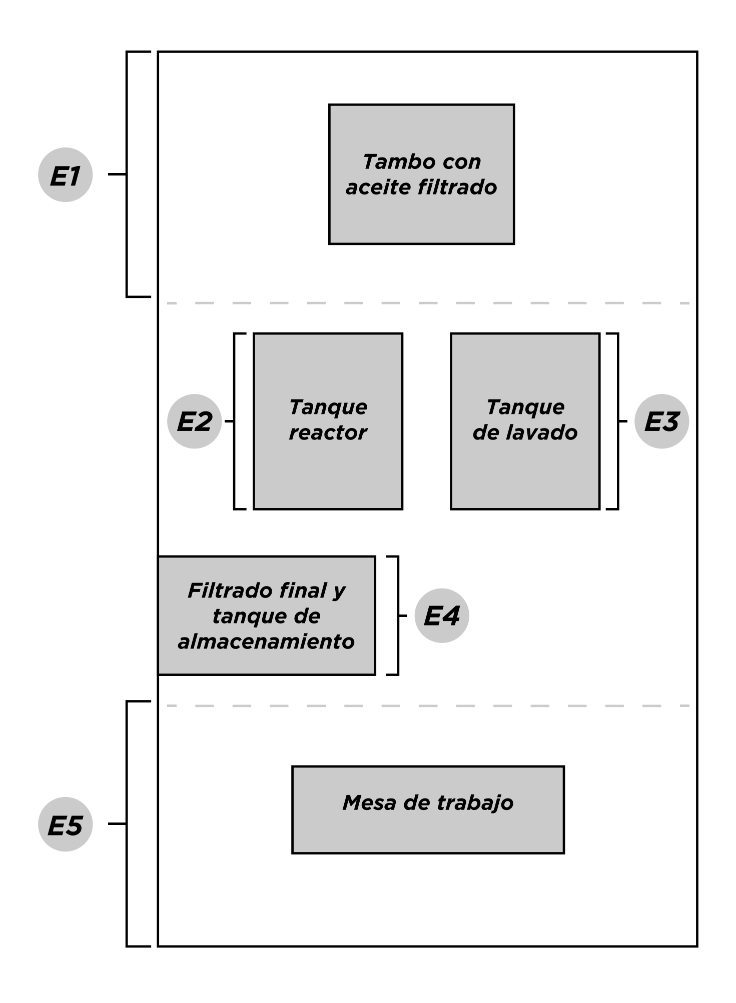


Figura 2. *Delimitación de las cinco estaciones de trabajo distribuidas en un espacio de 6x10 metros: (E1) Estación de recepción, filtrado y almacenamiento de aceite; (E2) Estación de cocción de biodiésel; (E3) Estación de lavado de biodiésel; (E4) Estación de filtrado final y almacenamiento de biodiésel; (E5) Estación de laboratorio y almacenamiento de reactivos.*

ESTACIÓN 1. Recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado.
La principal función en esta estación consiste en la recepción del aceite vegetal recolectado para filtrarlo, y así, eliminar las partículas sólidas y el agua que pudiera contener el aceite; finalmente, almacenarlo en un contenedor adecuado, es decir, en un lugar protegido de las condiciones climáticas.

ESTACIÓN 2. Cocción de biodiésel.
Esta estación requiere de un reactor, es decir, un contenedor grande (un tanque o tambo grande, por ejemplo de 200 L), que debe cumplir con tres funciones: 1) Calentar la mezcla de aceite y metóxido a más de 50 grados Celsius (°C), durante un periodo de hasta tres horas; 2) Durante ese mismo periodo, mezclar, agitar o recircular todo el contenido; y 3) Separar fases, es decir, drenar o vaciar por la parte de abajo para separar el glicerol del biodiésel, esto después de varias horas o días de la reacción.

ESTACIÓN 3. Lavado de biodiésel.
Área destinada al lavado del biodiésel, donde se requiere un tanque o tambo grande con capacidad de 200 litros y con adaptaciones que permiten recircular líquido.

ESTACIÓN 4. Filtrado final y almacenamiento de biodiésel.
Área destinada al último paso de filtrado de agua y partículas sólidas del biodiésel, antes de su almacenamiento en un tanque o tambo grande con tapa y con electrobomba para suministrar el combustible a un vehículo u otro recipiente.

ESTACIÓN 5. Laboratorio.
Se refiere a una mesa o área que pueda usarse para hacer pruebas a muestras de aceite colectado y al biodiésel.



3. MATERIA PRIMA, INSUMOS Y COSTOS DE PRODUCCIÓN

3.1 MATERIA PRIMA E INSUMOS

En la producción de biodiésel se requiere el uso de insumos muy específicos: aceite vegetal usado, metanol y un catalizador muy alcalino[7], o también denominado básico (hidróxido de sodio o hidróxido de potasio); mismos que se describen a continuación.

ACEITE VEGETAL USADO

El aceite vegetal usado es la materia prima que se transforma en biodiésel, a través de un proceso químico que se llama transesterificación. Este proceso se hace mezclando metóxido (compuesto derivado del metanol y un compuesto muy alcalino como la sosa cáustica) con el aceite vegetal a una temperatura que debe mantenerse entre los 50°C y 60°C.

METANOL

El metanol, también llamado alcohol metílico o alcohol de madera, entre otros nombres, es un producto químico orgánico (Imagen 2).



Imagen 2. *Garrafa con 20 litros de metanol*.

7 El adjetivo alcalino se emplea para calificar a aquello que dispone de álcali. Un álcali es un hidróxido de tipo metálico, que actúa como base fuerte y que presenta una gran solubilidad al estar en el agua; una solución que tiene un pH superior a 7.

CATALIZADOR ALCALINO:
HIDRÓXIDO DE SODIO (NAOH) Y EL HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH)

Los dos catalizadores[8] o bases más frecuentemente utilizadas para convertir el metanol en metóxido, son sustancias muy alcalinas, como el hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH). El hidróxido de sodio se denomina como sosa cáustica o lejía, y es un ingrediente común en jabones sólidos; el hidróxido de potasio, conocido también como potasa cáustica, es un compuesto inorgánico, inodoro y muy alcalino, que se encuentra comúnmente en estado sólido en forma de escamas, y se ocupa para fabricar jabones líquidos, entre otros usos industriales (Imagen 3).



3.2 CONSIDERACIONES SOBRE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN

En el proceso de producción de biodiésel, recomendamos tomar en cuenta los siguientes costos de producción:

- Costo del aceite. A veces se regala, pero en otros casos se cobra; también recoger el aceite puede implicar un costo.

- Costo de los insumos. Es probable que el metanol sea el insumo más costoso.

8 Catalizador. Es una sustancia que afecta, promueve o acelera la reacción entre dos o más sustancias para generar un producto final diferente.

- Costo de la energía. Principalmente la energía requerida para calentar los contenidos del reactor durante el proceso de transesterificación y la electrobomba de recirculación.

- Costo del agua. Considerando el agua que se emplea en el proceso de lavado del biodiésel.

- Costo de la labor humana. ¡Hacer biodiésel toma tiempo y dedicación!

Nota: *Se recomienda procesar un lote mínimo de 100 litros de biodiésel, para el cual se necesitan 20 L de metanol. Esto resulta conveniente, ya que las garrafas o bidones de 20 L de metanol son más fáciles de transportar y conseguir, incluso en tiendas en línea.*

4. CONSIDERACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL

La elaboración de biodiésel es un proceso relativamente sencillo que requiere la preparación de un conjunto de herramientas, equipo, insumos, y seguir una serie de medidas de seguridad en el espacio y protección personal. Asimismo, se deben de tomar ciertas consideraciones en el manejo y almacenamiento de los materiales, para asegurar un proceso con buenos resultados y menos riesgos para las personas que participan.

4.1 SELECCIÓN DEL SITIO

Hacer biodiésel implica cierto nivel de suciedad y mugre. ¡El aceite mancha! Por ello, toma en cuenta que, el vehículo donde se transporta el aceite vegetal usado, probablemente se ensucie, la ropa utilizada va a mancharse, y el lugar donde se hace el biodiésel, también. Al determinar dónde elaborar el proceso, selecciona un espacio fácil de limpiar, por si se cae aceite o se mancha el piso. El lugar que se seleccione debe contar con luz eléctrica, agua y un espacio adecuado para manejar correctamente sustancias que pueden ser tóxicas[9]; además, debe estar bien ventilado y apto para almacenar químicos inflamables.

4.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN

Para elaborar biodiésel se utilizan químicos tóxicos, volátiles[10] y corrosivos[11]. Por lo tanto, es absolutamente esencial contar con medidas de seguridad para evitar y mitigar accidentes que podrían ser graves.

9 Exposición a sustancias tóxicas. Cuando se tiene contacto con alguna sustancia tóxica, la persona está expuesta y el efecto de dicha exposición dependerá de: a) La duración del contacto; b) Del mecanismo mediante el cual el tóxico penetra en el cuerpo; c) De la cantidad del tóxico que la persona pueda eliminar.

10 Volátil. Que es susceptible de transformarse en vapor o gas espontáneamente.

11 Corrosivo. Sustancias corrosivas capaces de destruir o dañar de modo irreversible aquellas superficies con las que entran en contacto.

Medidas de seguridad en el espacio

- El área de trabajo debe protegerse del acceso de personas ajenas al proyecto, así como animales. De ser posible, la puerta debe contar con un candado.
- Elegir un lugar que se pueda limpiar fácilmente en caso de derrames.
- El espacio de trabajo debe estar ventilado, fresco, seco y protegido de la luz directa del sol.
- Tener acceso a agua corriente, ya sea a través de un lavamanos o grifo.
- Contar con extintor ubicado en un lugar de fácil acceso.
- Mantener las mesas de trabajo y repisas ordenadas y limpias.
- Las puertas de salida deben estar siempre libres de obstáculos.
- Tener a la mano equipo de limpieza como: trapos, jergas, cubetas, etc.

Medidas de protección personal

Las medidas de seguridad, en primera instancia, consisten en utilizar protección personal como: guantes de nitrilo[12], mangas largas, gafas protectoras, y opcionalmente, una máscara respiratoria especial como, por ejemplo, los respiradores 3M de la serie 6000 con cartuchos para gases y vapores, serie 6000 y 6092X.

Medidas para el manejo de los insumos

Metanol

Este alcohol es tóxico en caso de ingestión, contacto con la piel y en caso de inhalación. Una exposición aguda[13] al metanol puede causar ceguera o pérdida de la visión. Una exposición crónica[14] puede ser causa de daños al hígado o de cirrosis. No se debe beber, dejar sobre la piel ni respirar los vapores del metanol.

12 El nitrilo ofrece, generalmente, muy buena resistencia a los aceites, grasas y derivados de hidrocarburos, así como a los disolventes aromáticos o clorados. El nitrilo también ofrece una excelente resistencia a la abrasión y a la perforación.

13 Exposición aguda: es el contacto con el agente tóxico por unos segundos, minutos u horas, y hasta un día como máximo.

14 Exposición crónica: es el contacto con una sustancia tóxica durante días, meses o años. Puede ser continua o estar interrumpida por intervalos.

En términos de protección personal, es importante usar guantes preferentemente de nitrilo, manga larga, protectores para los ojos y mascarilla respiratoria con protección para gases y vapores, como se mencionó anteriormente. Para evitar la acumulación de vapores, es muy recomendable trabajar con el metanol en un lugar bien ventilado, o incluso, al aire libre.

Catalizador Básico - Hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de Sodio (NaOH)

Ambos catalizadores son considerados sustancias muy alcalinas o básicas, por ello, son sustancias potencialmente peligrosas; si entran en contacto con los tejidos del cuerpo, pueden causar lesiones graves, como son las quemaduras o úlceras por contacto.

Tanto el KOH como el NaOH deben manipularse con precaución, en un lugar con ventilación y utilizando protección personal (guantes, ropa de manga larga, gafas y máscara de protección). Otras medidas para su manejo son: lavar las manos al finalizar su uso y evitar comer, beber o fumar mientras se utilizan estos productos.

Nota Importante: *no guardes el KOH o NaOH en contenedores de aluminio ni uses accesorios de aluminio, ya que se puede generar gas de hidrógeno inflamable.*

4.3 ALMACENAMIENTO

¿Cómo almacenar correctamente el metanol, el aceite vegetal, el biodiésel y sus subproductos?

ALMACENAMIENTO DEL METANOL

El metanol es volátil, corrosivo e inflamable, por lo cual es mejor no almacenar grandes cantidades de este químico. Para pequeñas producciones de biodiésel, se estima el uso de solo 20 L de metanol. El contenedor de metanol debe mantenerse en un lugar fresco y seco, evitando la luz solar directa, lejos de instalaciones eléctricas. Asegúrate de que las garrafas o bidones no estén dañados y de que el tapón esté bien enroscado en todo momento. Los recipientes deben etiquetarse para indicar el peligro potencial del contenido y almacenarse lejos del alcance de los niños, los animales domésticos, el calor y la humedad.

ALMACENAMIENTO DE HIDRÓXIDO DE SODIO (NAOH) E HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH)

Ambos catalizadores o bases tienen una gran afinidad por la humedad, y se disuelven o funden cuando se exponen al aire libre. Cualquiera de las dos absorbe una cantidad relativamente grande de humedad presente en el aire; por lo tanto, deben almacenarse en recipiente de polietileno de alta densidad (HDPE)[15], hermético con cierre. Los recipientes deben etiquetarse para indicar el peligro potencial del contenido, y almacenarse lejos del alcance de los niños, los animales domésticos, el calor y la humedad.

ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL

El aceite vegetal es inflamable, por lo que es necesario almacenarlo en un contenedor en buen estado y con tapa. Es importante tener un lugar de almacenamiento seguro, y que se pueda limpiar de posibles derrames de aceite.

ALMACENAMIENTO DEL BIODIÉSEL Y EL GLICEROL

Tanto el biodiésel como el glicerol deben ser almacenados en recipientes herméticos hechos de materiales resistentes como acero inoxidable, polietileno de alta densidad (HDPE en inglés) o fibra de vidrio, para prevenir la corrosión y la reacción con la sustancia almacenada. Es esencial mantener el biodiésel en un lugar fresco, con temperaturas ideales entre 10°C y 20°C, evitando temperaturas extremas. Además, debe protegerse de la luz solar directa, ya que la exposición prolongada puede acelerar su degradación. El área de almacenamiento debe estar bien ventilada para evitar la acumulación de vapores inflamables. Es importante mantenerlo etiquetado y fuera del alcance de personas no capacitadas para su manejo.

El biodiésel tiene una vida útil de aproximadamente seis meses, dependiendo de varios factores. Las condiciones de almacenamiento desempeñan un papel crucial en la longevidad del combustible.

¡PREPARA TU ÁREA Y EL EQUIPO DE TRABAJO!

15 Polietileno de alta densidad por sus siglas en inglés HDPE (High Density Polyethylene), es un material resistente a los impactos, a la tracción y a las temperaturas altas y bajas, además de no ser afectado por los ácidos o el disolvente. Sus principales ventajas son la rigidez y resistencia.

5. ESTACIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

A continuación, se presentan las herramientas, materiales y equipo necesario, dividido por estación de trabajo, que fueron descritos en la sección 2: estación de recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado; estación de cocción de biodiésel; estación de lavado; estación de filtrado de biodiésel; estación de almacenamiento de biodiésel terminado y estación de laboratorio.

5.1 ESTACIÓN 1:

RECEPCIÓN, FILTRADO, ELIMINACIÓN DE AGUA Y ALMACENAMIENTO DE ACEITE VEGETAL USADO

Esta estación debe contar con un espacio que se pueda ensuciar y limpiar con facilidad, y estar techada, para resguardar el contenedor de almacenamiento de aceite así como los materiales; requiere un sistema para filtrar aceite y un tanque para almacenarlo.

5.1.1. Sistema para filtrar aceite

En el sistema para filtrar aceite se emplean, como su nombre lo indica, filtros, y también un tanque de almacenamiento.

- Materiales para construir el sistema para filtrar aceite.
- 3 garrafas con tapón, cada una con una capacidad de 20 L.
- 3 cubetas con tapa, cada una con una capacidad de 20 L.
- Filtros adaptados para cubetas o tambos, según el tipo de contenedor elegido.
- 1 embudo de plástico para verte aceite a autos.

Filtros: Existen filtros prefabricados con aperturas de 400, 200 y 100 micrómetros[16] (Imagen 4). Estos filtros están diseñados para encajar en cubetas de 19 L o tambos de 200 L[17]. También se pueden construir filtros utilizando materiales fáciles de conseguir. Estos materiales se caracterizan por tener orificios de diferentes tamaños, que permiten un filtrado sucesivo y retener partículas de menor tamaño en cada paso. Por ejemplo, para un primer filtrado se puede utilizar una malla mosquitera, y en un segundo filtrado, un retazo de tela de mezclilla.



Imagen 4. *Se muestra un filtro prefabricado con apertura de 200 micrómetros.*

5.1.2 Tanque para almacenar el aceite

Para el almacenaje del aceite se recomienda utilizar un tambo de 200 L, que puede ser de metal o de plástico, pero con tapa que se abra completamente. El tambo debe permitir guardar el aceite, así como drenar el agua y sedimentos que se acumulen en el fondo. También es conveniente que cuente con una válvula que permita tener conexión para transferir el aceite al tanque reactor. A este tambo, con todos los elementos señalados, lo llamaremos tanque para almacenar aceite (Figura 3).

16 Micrómetro, micrón o micra. Es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro. Su símbolo es Qm.

17 https://www.utahbiodieselsupply.com/blog/poly-mesh-micron-rating-examples-bucket-drum-filters/

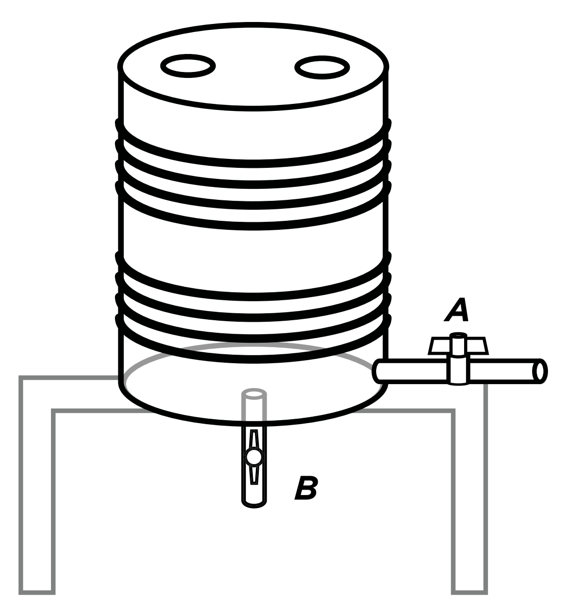


Figura 3. *Tanque para almacenar el aceite, con: (A) conexión para transferir el aceite al reactor y (B) válvula para drenar el agua y sedimentos asentados.*

Materiales para construir el tanque de almacenaje

- 1 tambo de 200 litros de plástico (polietileno libre de corrosión y resistente a abolladuras).
- 2 bridas de 1 pulgada.
- 2 coples de rosca de PVC hidráulico de 1 pulgada.
- 2 válvulas de PVC hidráulico de 1 pulgada.
- Tubo hidráulico de 1 pulgada (el largo del tubo dependerá de la distancia hasta donde se encuentre el tanque de rector).

Procedimiento para la construcción del tanque de almacenaje

1) Realizar una perforación de una pulgada en un costado del tambo, a 10 cm de la base (Figura 3, letra A).

2) Realizar otra perforación de una pulgada en el centro de la base del tambo (Figura 3, letra B).

3) Colocar una brida en ambas perforaciones y colocar un cople de rosca en ambas bridas.

4) Colocar en cada rosca, una válvula de una pulgada.

5) En la válvula, instalada a 10 cm de la base del tubo, colocar un adaptador y unir tubo de una pulgada (salida de aceite Figura 3, letra B); por medio de este tubo, se puede enviar el aceite al reactor.

6) La válvula, conectada en el centro de la base del tambo, es la que nos permitirá drenar los sedimentos o el agua acumulada en el fondo del tambo (drenaje del tambo Figura 3, letra B y Imagen 5).

7) Colocar el tambo sobre una superficie que permita acceder a la válvula instalada en la base, y colocar un recipiente para recibir los sedimentos y el agua no deseados.



Imagen 5. *Tanque de almacenamiento de aceite con la válvula de drenaje instalada en la base.*

5.2 ESTACIÓN 2:

COCCIÓN DE BIODIÉSEL

Esta estación requiere de un tanque reactor, es decir, un contenedor grande (100 o 200 L), que se debe adaptar para cumplir con tres funciones: 1) calentar la mezcla de aceite y metóxido a más de 50 grados,durante un periodo de hasta tres horas; 2) durante ese mismo periodo, mezclar, agitar o recircular todo el contenido; 3) y separar fases, es decir, drenar o vaciar por la parte de abajo para separar el glicerol del biodiésel; esto después de varias horas o días de la reacción.

Para realizar estas funciones, el rector se integra de 5 componentes principales, como podemos ver en la Figura 4.

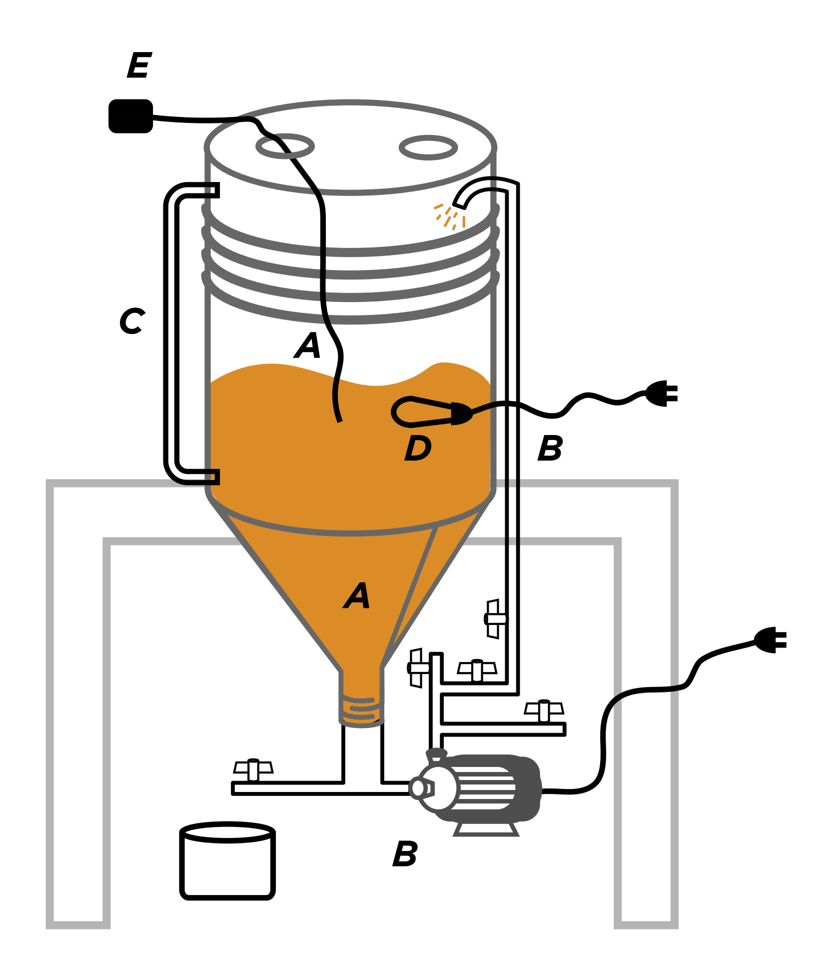


Figura 4. *Componentes principales del tanque reactor: (A) Cuerpo del reactor; (B) Sistema de recirculación; (C) Marca de nivel; (D) Calentador; (E) Indicador de temperatura.*

5.2.1 Cuerpo del reactor

El cuerpo del reactor se refiere a un tambo de 200 L, que en la base tiene unido un embudo en forma de pirámide trunca; en los costados del tambo hay conexiones para instalar el tubo de recirculación y para conectar la manguera de nivel (Figura 5).

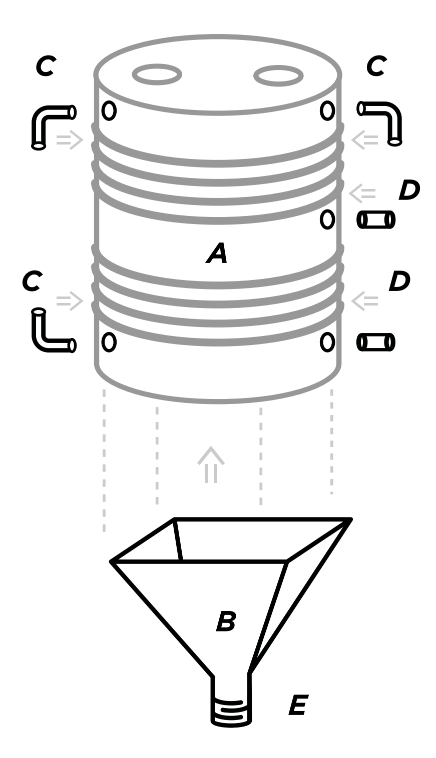


Figura 5. *Se muestran las partes que integran el cuerpo del tanque reactor: (A) Tambo; (B) Embudo; (C) Codos con rosca interna; (D) Conector con rosca interna; (E) Conector de metal con rosca externa .*

Materiales para construir el cuerpo del reactor

- Tambo de metal con tapa y capacidad de 200 L.
- Embudo piramidal de lámina (la base de la pirámide debe ajustarse a la circunferencia del tanque, el largo puede variar).
- 3 codos de 90 grados de metal, con rosca interna de 1 pulgada.
- 2 conectores de metal, con rosca interna de 1 pulgada.
- 1 tubo de acero con rosca externa, de 15 centímetros de longitud y de 1 pulgada de diámetro (conector de metal con rosca externa).

Construcción del cuerpo del reactor

La construcción del cuerpo del reactor implica soldar diferentes piezas al tambo, lo cual debe ser realizado por un herrero; a continuación, se describe su construcción en cuatro etapas, incluyendo la base que sostendrá el reactor.

Etapa 1: Construir una pirámide trunca de lámina, cuya base debe ajustarse al diámetro de la base del tambo; la altura de la pirámide trunca puede variar (mientras se forme una estructura piramidal es suficiente); dicha pirámide deberá tener soldada en la punta un conector de tubería con rosca externa de 1 pulgada. Finalmente, la pirámide trunca con conector deberá soldarse a la base del tambo de 200 L (Ver Figura 5, letras A, B y E).

Etapa 2: Se deben soldar 3 codos de 1 pulgada, con rosca interna, de la siguiente manera: el primer codo, en la base del tambo; el segundo codo, en la parte superior del tambo; y en el extremo opuesto, soldar el tercer codo en la parte superior del tambo (ver Figura 5, letra C).

Etapa 3: Soldar un conector de 1 pulgada, con rosca interna, a 15 centímetros por encima de la base del tambo, y otro conector, igual al anterior, a la mitad del tambo (ver Figura 5, letra D).

Etapa 4: Para sostener y fijar el cuerpo del reactor, se debe construir una base de acero, la cual debe soportar el peso del tanque reactor lleno. La altura de esta base debe tener una altura que permita colocar una cubeta de 20 litros bajo el cuerpo del reactor (Imagen 6).



Imagen 6. *Se muestra la base de acero rectangular sobre la cual se sostienen el reactor y el tanque de lavado.*

5.2.2 Sistema para recircular

El bombeo se realiza mediante una electrobomba de medio caballo de fuerza. A la succión de la electrobomba se encuentra conectada la pirámide trunca del reactor, y a la salida de esta, se encuentra conectado el tubo que envía los contenidos a la parte superior del tanque reactor. De esa manera, la electrobomba recircula los contenidos del reactor (Figura 6).

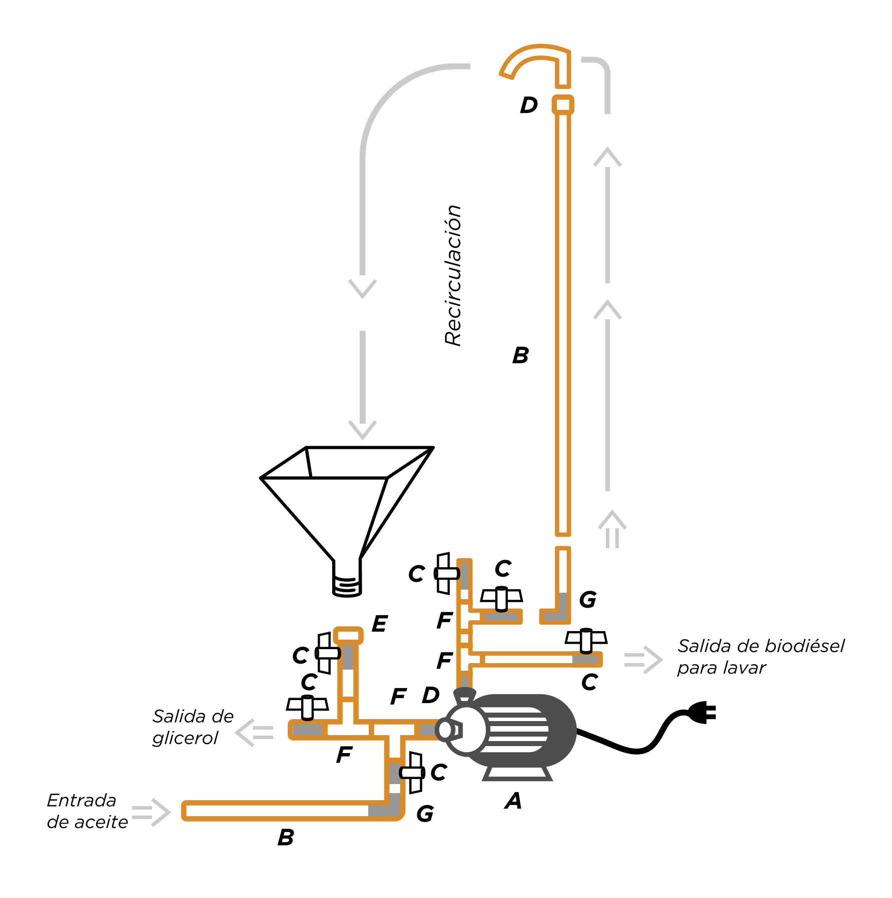


Figura 6. *Sistema para recircular: (A) Electrobomba de 0.5HP; (B) Tubo pvc hidráulico de 1 pulgada; (C) 6 válvulas de 1 pulgada; (D) 3 conectores hidráulicos de rosca exterior de 1 pulgada; (E) Conector hidráulico de rosca interior de 1 pulgada; (F) 4 "T" hidráulicas de 1 pulgada; (G) 2 codo de 1 pulgada.*

Materiales para construir el sistema de recirculación

- Electrobomba de 0.5HP[18].
- 2 metros de tubo pvc hidráulico de 1 pulgada.
- 4 válvulas de 1 pulgada.
- 1 conector hidráulico de rosca interior de 1 pulgada.

18 HP: siglas en inglés para "Horsepower", lo que significa "caballos de fuerza".

- 2 conectores hidráulicos de rosca exterior de 1 pulgada.
- 3 “T” hidráulicas de 1 pulgada.
- 1 codo hidráulico de 1 pulgada.
- 1 cople hidráulico de 1 pulgada.
- Pegamento para PVC.

Construcción del sistema para recirculación

a) A la salida del embudo del reactor, colocar el conector de rosca interna (ver Figura 6, letra E).

b) Colocar en la rosca de la succión y salida de la electrobomba, un conector de rosca exterior (ver figura 6, letra D).

c) Cementar al conector de la succión de la electrobomba, un tubo del largo requerido para llegar hasta la base del embudo (ver Figura 6, letra B).

d) Unir al tubo de la succión una “T”, y en cada extremo, un cople de unión (ver Figura 6, letra F).

e) En el extremo del tubo horizontal, colocar una válvula (ver Figura 6, letra C).

f) En la salida de la electrobomba, cementar al conector una “T” y encima otra ”T” al final, y colocar una válvula (ver Figura 6, letras F, G y C).

g) En la primera “T”, cementar un tubo corto con una válvula al final. En la segunda “T”, cementar una válvula, y a continuación, un codo (ver Figura 6, letra B, C y H).

h) Colocar un conector de rosca exterior al codo soldado en la parte superior del tambo, y cementar un tubo al codo de la salida y al codo del conector del tambo (ver Figura 6, letras H B y F); a la par de la operación anterior, unir el tubo de la succión.

i) Fijar la electrobomba a una base estable, a un lado del tambo y por debajo del nivel del embudo (ver Figura 6, letra A).

5.2.3 Marca de nivel

Cuando transferimos el aceite al reactor, la marca de nivel nos indica el momento en que el tanque reactor se ha llenado hasta los 100 L. Este nivel se indica con una marca sobre una manguera transparente (Figura 7).

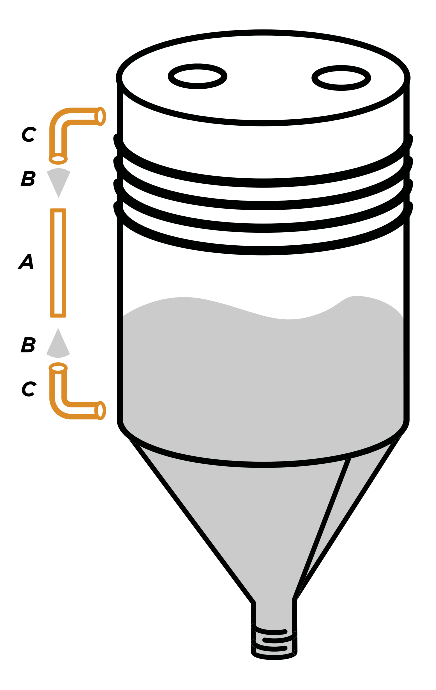


Figura 7. *En la imagen se muestran los codos soldados al cuerpo del reactor, (A) Manguera transparente marcada hasta el nivel de los 100 litros; (B) Las espigas con rosca para manguera; (C) Codos previamente instalados en el cuerpo del reactor.*

Materiales para construir la marca de nivel

- 1 metro de manguera transparente de 1 pulgada.
- 2 adaptadores de 1 pulgada con rosca y espiga.
- 2 abrazaderas de 1 pulgada.
- 1 marcador indeleble.
- 2 codos de acero de 1 pulgada.

Construcción de la marca de nivel

1) Enroscar los adaptadores de espiga en los codos del tambo (ver Figura 7, letra B).

2) Conectar la manguera a la espiga en la base del tambo, y conectar el otro extremo de la manguera a la espiga ubicada en la parte superior del tambo (ver Figura 7, letra A).

3) Colocar las abrazaderas y apretarlas sobre la unión entre la manguera y los conectores de espiga.

4) Agregar al tambo 100 L de aceite y marcar, con plumón indeleble, este nivel en la manguera; la marca indicará el lugar exacto en donde nuestro tambo contendrá 100 L.

5.2.4 Calentador

Para calentar el contenido del tambo es conveniente utilizar una resistencia con rosca, la cual se podrá acoplar a la unión con rosca previamente soldada en el reactor; de esta forma, la resistencia quedará en el interior del reactor (Figura 8, letras A y B).

Material para el calentador:
Resistencia para boiler/calentador de agua con rosca de una pulgada, de 2000 W a 120V.

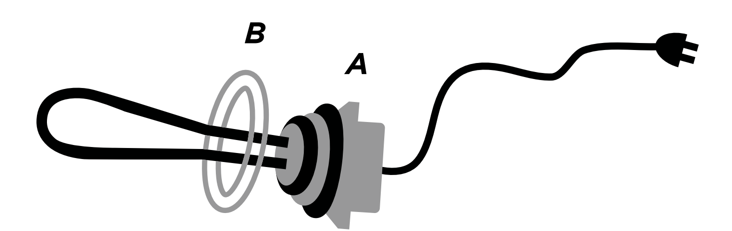


Figura 8. *Resistencia: (A) Rosca de la resistencia; (B) Unión con rosca soldada al cuerpo del reactor.*



Imagen 7. *Resistencia para boiler (calentador) con rosca de 1 pulgada, de 2000 W a 120V.*

5.2.5 Indicador de la temperatura

Para medir la temperatura, se utiliza un termómetro digital con capacidad de lectura entre 40°C y 110°C. El termómetro debe ser capaz de medir constantemente la temperatura dentro del tanque de reacción, y contar con un sensor con cable (Imagen 8); este cable se introduce al reactor por un orificio en la tapa del tambo, y debe sumergirse por completo en el aceite o mezcla. La posición del termómetro se muestra en la Figura 4, letra E.

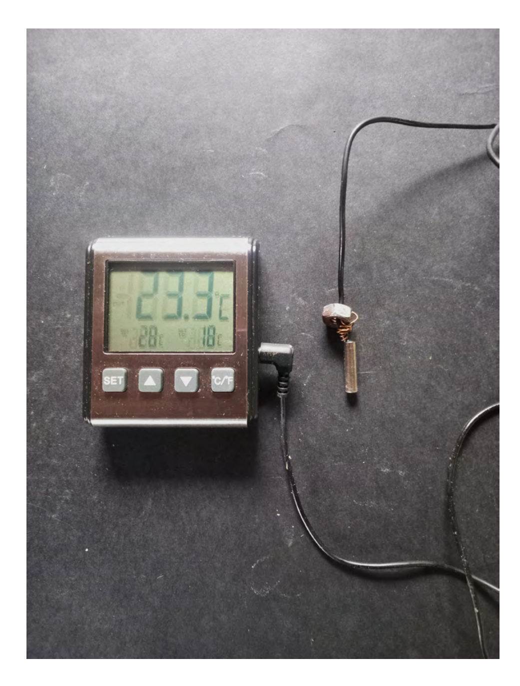


Imagen 8. *Termómetro digital con cable y sensor.*

5.3 ESTACIÓN 3:

LAVADO DE BIODIÉSEL

Área destinada al lavado del biodiésel, donde el elemento principal es el tanque de lavado, el cual permite agregar agua para lavar el biodiésel y recircularlo (Figura 9).

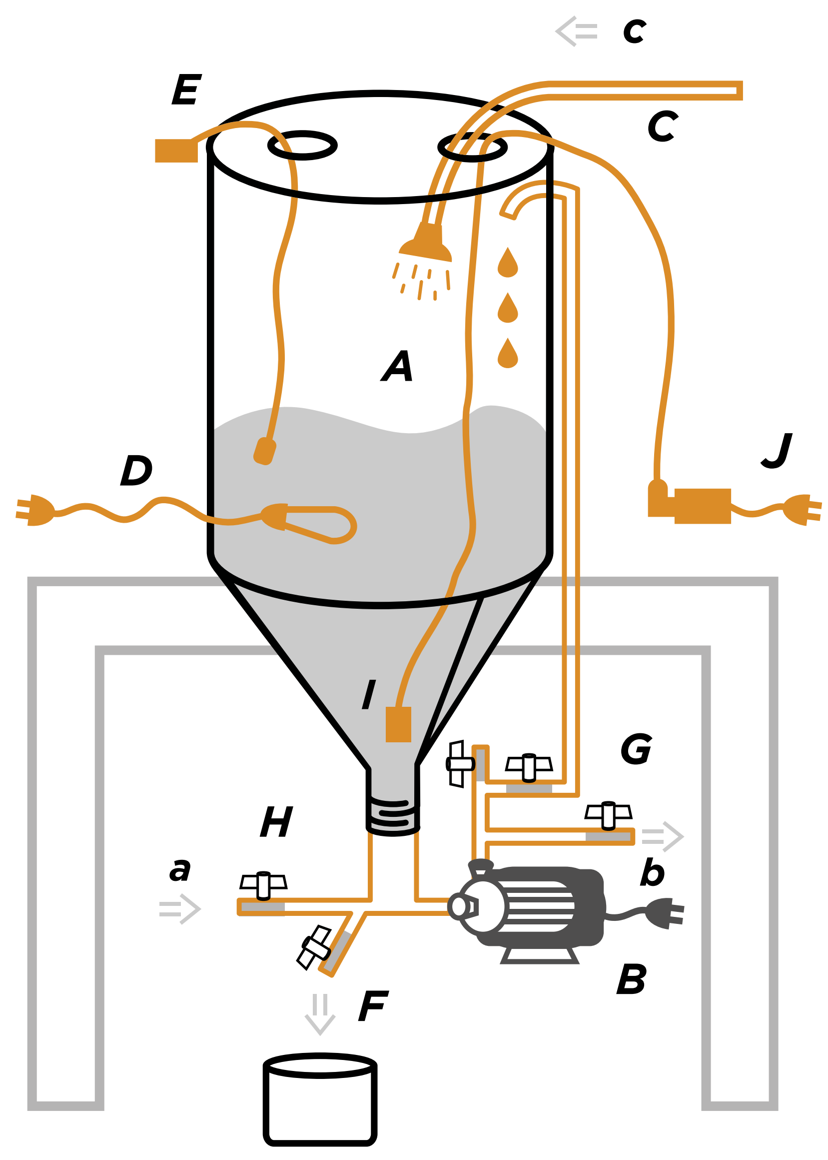


Figura 9. *Elementos del tanque de lavado: (A) Cuerpo del tanque de lavado; (a) Entrada de biodiésel sin lavar; (B) Sistema de recirculación; (b) Salida de biodiésel lavado; (C) Sistema de entrada de agua; (c) Recirculación durante el lavado ; (D) Elemento de calefacción; (E) Termómetro; (F) Drenaje en la parte inferior; (G) Sistema para transferir el biodiésel ya lavado; (H) Entrada de biodiésel por lavar; (I) Manguera del burbujeador con trozo de madera porosa en la punta; (J) Bomba de acuario.*

5.3.1 Cuerpo del tanque de lavado

Los materiales, y el procedimiento para la construcción del cuerpo del tanque de lavado, son los mismos que los referidos para construir el cuerpo del tanque del reactor, excepto que en este tanque, no se sueldan los codos para la manguera de marca de nivel (ver sección 5.2.1 Cuerpo del reactor).

Material para construir el cuerpo del tanque de lavado

- Tambo de metal con tapa y capacidad de 200 L.
- Embudo piramidal de lámina.
- 3 codos de metal con rosca interna de 1 pulgada.
- 2 conectores de metal con rosca interna de 1 pulgada.
- 1 tubo de acero con rosca externa de 15 centímetros de longitud y de 1 pulgada de diámetro.

5.3.2 Sistema de recirculación en el tanque de lavado

El sistema de recirculación mantiene el mismo diseño que el utilizado para el reactor, por lo cual los materiales y el procedimiento de construcción no cambian. Lo que sí cambian son los compuestos que entran y salen en el tanque de lavado, con respecto a las sustancias que entran y salen del reactor. En el tanque de lavado entra biodiésel por lavar (proveniente del reactor después de la separación del glicerol), se recircula el biodiésel con agua, y sale el biodiésel lavado. El agua con jabón es eliminada por la válvula de drenaje (Figura 9).

Materiales para el sistema de recirculación del tanque de lavado
Para construir el sistema de recirculación del tanque de lavado es necesario repetir el método de construcción señalado en la sección 5.2.2.

5.3.3 Sistema de entrada de agua

El sistema de entrada de agua consiste únicamente en una manguera de 1 pulgada con aspersor de agua. La manguera debe estar conectada al suministro de agua. Para colocarla en el tanque de lavado, basta con abrir la tapa y colocar la punta de la manguera unida a un cabezal aspersor (ver Figura 9, letra C).

Nota: *Existen aspersores especiales que se pueden comprar en tiendas de suministros agrícolas o en Internet. En caso de no disponer de uno, una pistola de manguera de jardín, con ajuste para rocío fino, puede ser una alternativa funcional.*

5.3.4 Elemento de calefacción

Para calentar ligeramente el biodiésel, se utiliza una resistencia que va enroscada a un adaptador para quedar al interior del tanque. Las especificaciones y manera de adaptarse, se describen en la sección 5.2.4.

5.3.5 Termómetro

Para medir la temperatura del tanque de lavado, se utiliza un termómetro digital con cable y sensor con capacidad para tomar lecturas entre 40°C y 110°C, como el descrito en la sección 5.2.5.

5.3.6 Burbujeador

Para mejorar la pureza del biodiésel lavado, se recurre a la producción de burbujas finas en la base del tanque, lo cual ayuda a separar las últimas partículas de jabón residual.

Material para generar burbujas. Se puede utilizar una bomba de aire para acuario de entre 100 y 300 litros. La bomba queda fuera del tanque y, lo que se introduce, es una manguera, la cual se conecta a la salida de aire de la bomba (Imagen 9). Dicha manguera, se introduce al tanque por la tapa y debe llegar hasta el fondo del embudo. Al final de la manguera, se coloca un trozo de madera porosa que permitirá la dispersión de burbujas (ver Figura 9, letra I).



Imagen 9. *Bomba de aire para acuario, para generar burbujas.*

5.4 ESTACIÓN 4:

ALMACENAMIENTO Y FILTRADO FINAL

Herramientas y equipo de estación de almacenamiento y filtrado final de biodiésel

Tanque de almacenamiento y filtrado final del biodiésel conectado a dos filtros: uno para partículas y otro para restos de agua (Figura 10, letras A y B).

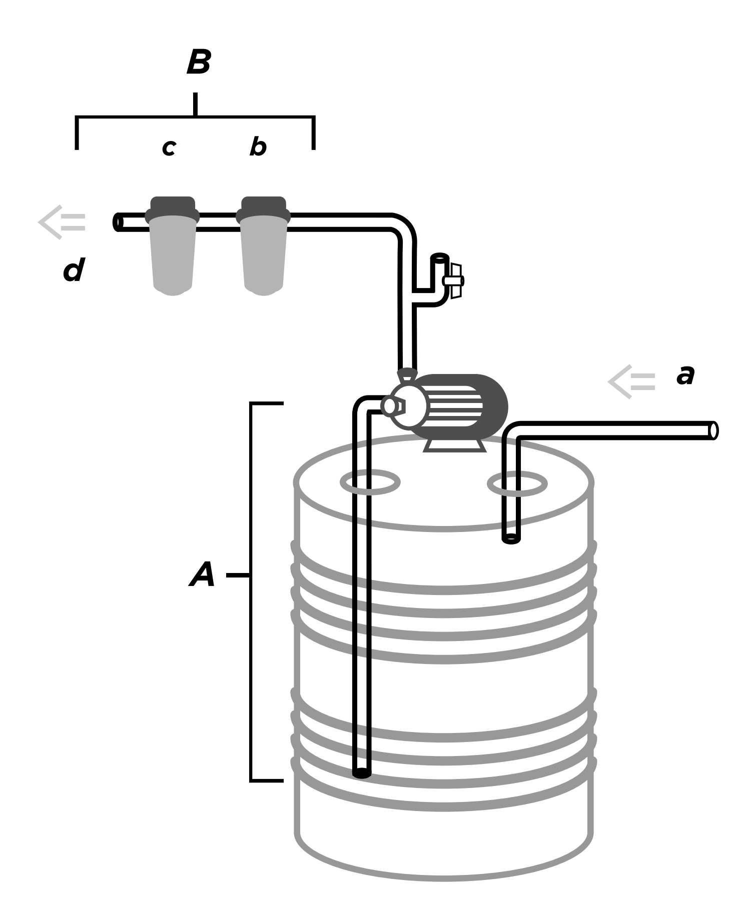


Figura 10. *Elementos del tanque de almacenamiento y filtrado final del biodiésel: (A) Tanque; (a) Entrada de biodiésel lavado para su posterior filtración; (B) Paso por los filtros de partículas y agua; (b) Filtro para agua; (c) Filtro para partículas; (d) Salida de biodiésel listo para utilizarse.*

Materiales

- Un tambo de 200 L de plástico o metálico.
- Una electrobomba de 0.5HP.
- 2 metros de tubo de 1 pulgada.
- Pichancha de 1 pulgada.
- 2 conectores con rosca externa.
- 3 codos de 1 pulgada.
- 1 “T” de 1 pulgada.
- 1 válvula de 1 pulgada.
- 1 tuerca unión de 1 pulgada.
- 2 conectores con rosca interna de 1 pulgada.
- 2 filtros especializados para biodiésel, por ejemplo el Bio-Flo 497 de 10 micrones para sólidos y el Water-Block 496 para agua, de la marca Goldenrod (Imagen 10).



Imagen 10. *Se muestran los filtros Goldenrod: el Bio-Flo 497 de 10 micrones para sólidos y el Water-Block 496 para agua.*

5.5 ESTACIÓN 5:
LABORATORIO

Dentro del espacio de trabajo, es importante tener una mesa para realizar actividades como pesar materias primas y verificar la calidad del aceite o del biodiésel. También se debe contar con un par de repisas para colocar los insumos e instrumentos de laboratorio.

5.5.1 Herramientas y equipo de estación laboratorio

En esta área es recomendable tener:

- Agitador magnético[19].
- Vaso de precipitado[20] de 200 ml o un vaso para medir de 200 ml.
- Pipeta[21] de 10 ml o jeringa de 10 ml.
- Pipeta de 10 ml y de 1 ml o como alternativa se pueden utilizar jeringas estándar y de insulina.
- Bomba dosificadora para pipeta[22].
- Báscula digital.
- Sartén y parrilla eléctrica.
- Frascos con tapa de 100 ml.

19 Para operar el agitador magnético, la barra magnética de agitación "frijol" es colocada dentro de un contenedor de vidrio con el líquido por agitar. El contenedor es colocado encima de la placa en donde los campos magnéticos ejercen su influencia sobre la barra magnética y generan su rotación.

20 Un vaso de precipitado tiene forma cilíndrica, con una boca en la parte de arriba, para poder transferir el líquido que contiene con mayor facilidad. Pueden ser de vidrio Pyrex, vidrio común o plástico, y están graduados.

21 La pipeta es un instrumento formado por un tubo transparente, generalmente de vidrio, que termina en una de sus puntas de forma cónica y tiene una graduación indicando distintos volúmenes. Para su uso, se recomienda seguir estos pasos: 1) El líquido se aspira mediante un ligero vacío usando un bulbo de succión o propipeta, nunca con la boca. Asegurar que no haya burbujas ni espuma en el líquido; 2) Limpiar la punta de la pipeta antes de trasladar el líquido; 3) Llenar la pipeta por encima de la marca de graduación y trasladar el volumen deseado. El borde del menisco debe coincidir con la marca de graduación.

22 La bomba para pipeta es un instrumento que se utiliza, junto con las pipetas, para transferir líquidos de un recipiente a otro de manera precisa y segura.



Imagen 11a. *Agitador magnético y vaso de precipitado de 200 ml.*



Imagen 11b. *De izquierda a derecha: pipeta de 1 ml; pipeta de 10 ml y bomba dosificadora para pipeta.*



Imagen 11c. *Báscula digital.*

¡VAMOS A HACER BIODIÉSEL!





6. PASOS A SEGUIR PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL

En el siguiente apartado del manual, se presenta el procedimiento a seguir para la elaboración de biodiésel, distribuido en 10 pasos, que van desde la recolección de la materia prima hasta el almacenamiento del producto final: biodiésel. Te recomendamos seguir todas las consideraciones y los pasos descritos para obtener los mejores resultados.

PASO 1

Las acciones a realizar en el Paso 1 se llevan a cabo en la Estación de recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado (Estación 1).

6.1 Recolectar y preparar el aceite vegetal usado como materia prima

Para elaborar el biodiésel es necesario identificar la fuente de aceite o grasa que será nuestra materia prima para producir biodiésel. En este caso, el aceite vegetal puede ser obtenido de un freidor o de residuos de la cocina, o puede ser aceite vegetal virgen de las plantas como girasol, canola, palma, etc. No obstante, en esta guía vamos a enfocarnos en el uso de aceite vegetal usado o residual, para darle una nueva vida después de que ya no nos sirve en la cocina, y así, evitar que termine contaminando suelos, ríos y mantos acuíferos.

6.1.1 Herramienta y equipo

- Ropa y calzado que se pueda ensuciar.
- Embudo.
- Equipo de la Estación 1 (sus especificaciones y construcción se encuentran descritas en la sección 5.1).

6.1.2 Procedimiento de recolección de aceite vegetal usado como materia prima

Para obtener una cantidad suficiente de aceite vegetal usado para producir biodiésel en volúmenes razonables (100 L o más), es importante planificar su recolección. Habría que pensar en cómo y dónde recolectarlo. Se puede obtener a través de vecinos o negocios locales como restaurantes, freidoras, etc.

Recomendaciones para la recolección del aceite
Cualquiera que sea la opción viable, es importante dialogar con los vecinos o los dueños de los negocios sobre el propósito de recolección, y llegar a acuerdos sobre la mejor manera de llevarlo a cabo: con qué frecuencia, si tendría algún costo, etc. En algunos casos, puede ser necesario proporcionar garrafas o cubetas de 20 L para almacenar el aceite usado (Imagen 12).



Para la recolección del aceite, se recomienda utilizar ropa y calzado que se pueda ensuciar. Antes de transportar las garrafas o cubetas, es importante revisarlas para asegurar que no tengan hoyos o cuarteaduras. Una vez recolectado el aceite, los recipientes deben mantenerse bien cerrados para evitar derrames.

Imagen 12. *Se muestra el aceite recién recolectado mientras es transferido a garrafas, lo cual facilita su transporte y permite regresar las cubetas al restaurante.*

PASO 2

Las acciones de este paso también se realizan en la Estación de recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado (Estación 1).

6.2 Eliminar partículas sólidas del aceite vegetal usado

Una vez colectado el aceite a utilizar, es necesario retirar partículas sólidas y agua, ya que ambos pueden influir negativamente en el proceso de transformación de aceite vegetal a biodiésel. A continuación, explicamos cómo retirarlas.

Con el objetivo de eliminar sólidos del aceite, se requiere filtrar el aceite, lo cual consiste en pasarlo por algún medio físico que retenga las partículas, como una tela o una malla. Entre mejor sea el filtrado, nos permitirá procesar un biodiésel de mejor calidad.

6.2.1 Herramienta y equipo

- Cubetas de 20 L.
- Sistema elegido para filtrar aceite (descritos en la sección 5.1.2).
- Tanque de 200 L para almacenar el aceite (sus especificaciones y construcción se encuentran descritas en la sección 5.1.3).

6.2.2 Procedimiento de filtrado para eliminación de partículas y residuos

A) Calentar el aceite. Recolectado el aceite, se puede dejar al sol para calentarse y lograr que, al filtrar, fluya mejor.

B) Pasar el aceite por los filtros. Vaciar el aceite recolectado sobre un primer filtro con orificios de 400 micrones; esta medida permite atrapar las partículas más gruesas. También se puede implementar un filtro similar, utilizando una malla mosquitera que se ajusta con cinchos a las cubetas o tambos.

Vaciar el aceite filtrado sobre un segundo filtro con orificios de 200 micrones, los cuales atrapan partículas más finas. El segundo filtro se puede implementar utilizando tela de tipo cedazo, ajustada con cinchos a las cubetas o tambos.

Vaciar el aceite del segundo filtro sobre un tercer filtro, con orificios de 100 micrones, los cuales atrapan partículas muy finas; este tercer filtro se puede implementar utilizando un retazo de tela de mezclilla, también ajustada con cinchos a las cubetas o tambos.

C) Almacenar el aceite. Conforme se va filtrando el aceite, este se puede ir vaciando en el tanque de almacenaje de aceite.

D) Sacudir y limpiar los filtros. Para ello, se recomienda utilizar un buen jabón y sacudir los filtros, de esta forma, se evita que el aceite quede incrustado en los orificios del filtro.

PASO 3

Este paso también se realiza en la Estación de recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado (Estación 1).

6.3 Eliminar agua del aceite vegetal usado

Muchas veces, el aceite usado contiene algo de agua, producto de su absorción durante la cocción de alimentos. Afortunadamente, el agua se evapora y el aceite no. Además, el agua es más densa que el aceite, lo que permite que se separen. Estas diferencias en sus propiedades físicas, facilitan eliminar agua del aceite mediante procesos de asentamiento y/o evaporación.

En este paso, se elimina el agua presente en el aceite vegetal usado, que emplearemos como materia prima para el biodiésel. A continuación, se explican los materiales y el método para saber si el aceite tiene agua y cómo eliminarla.

6.3.1 Materiales e insumos necesarios para saber si el aceite tiene restos de agua

- Sartén para probar el contenido de agua en el aceite.
- Elemento de su elección para calentar el aceite.

Método

Calienta un sartén y añade una cucharada del aceite que utilizarás para la producción de biodiésel. Si sale humo, está todo bien; sin embargo, si se forman burbujas o chispas, significa que contiene agua todavía.

6.3.2 Métodos para eliminar el agua del aceite usado

A continuación, compartimos dos opciones para eliminar el agua del aceite.

Opción 1. Eliminar agua con un proceso de asentamiento

El agua puede existir en el aceite como “agua libre” (que, si se deja reposar, se asentará en el fondo), o como “gotas en suspensión” (que pueden asentarse en el fondo del tanque si el aceite se calienta y luego se deja reposar).

A) Para agilizar el proceso, hay que calentar el aceite a 60°C durante 15 minutos.

B) Dejar reposar el aceite entre 24 horas y 2 semanas.

C) Drenar el agua asentada en el fondo del tanque de almacenamiento.

D) De forma opcional, el aceite se puede volver a reposar para eliminar todavía más agua.

Opción 2. Eliminar el agua del aceite facilitando la evaporación

Como se mencionó, el agua se evapora mucho antes que el aceite, entonces se puede evaporar el agua al calentar el aceite por encima de 100°C (punto de ebullición del agua). Para ello, se recomienda utilizar un tanque abierto para facilitar la evaporación. Asimismo, debe utilizarse un bombeo de recirculación para evitar que se formen bolsas de vapor peligrosas dentro del aceite. Cuando la ebullición ha disminuido su intensidad, aumenta el calor a 130°C, durante unos 10 o 15 minutos, y listo. Este método es más rápido que el asentamiento de la primera opción, pero requiere mayor cantidad de energía.

PASO 4

Este paso 4, de almacenamiento del aceite que ya hemos filtrado, se realiza en la Estación de recepción, filtrado, eliminación de agua y almacenamiento de aceite vegetal usado (Estación 1).

6.4. Almacenamiento del aceite vegetal filtrado



El aceite se guarda en el tanque de almacenamiento (ver tanque de almacenaje descrito en la sección 5.1.3). Se deben tener en cuenta las medidas de seguridad señaladas anteriormente. Es práctico que el tanque de almacenamiento se encuentre a una distancia que facilite pasar el aceite almacenado al tanque de reacción (Imagen 13).

Imagen 13. *Tanque para almacenar aceite con válvula de salida, que facilita el envío del aceite al tanque reactor.*

PASO 5

Este paso 5, consistente en la valoración y tratamiento del aceite, se realiza en la Estación de laboratorio (Estación 5).

6.5 Valoración y tratamiento del aceite

¿Cómo determinar cuántos gramos de catalizador (base) agregar al metanol por litro de aceite?

Debido a que cada aceite es distinto y su pureza varía, se deben evaluar sus características para conocer la cantidad de catalizador (base) adicional que se debe agregar a una cantidad ya estandarizada para un litro de aceite. La base se agrega al metanol para formar metóxido, el cual posteriormente se agrega al aceite, y con ello, se lleva a cabo la reacción de transesterificación para obtener biodiésel. Dicha evaluación, y la forma en la que se determina la cantidad total de catalizador (base) que se debe agregar, se encuentra descrito en el Anexo 1.

PASO 6

Las acciones a realizar en este paso 6 son llevadas a cabo en la Estación de Cocción de biodiésel (Estación 2).

6.6 Cocinar un lote de biodiésel

El momento más esperado ha llegado. Una vez que el aceite está libre de agua, y se sabe la cantidad de catalizador a emplear, es hora de cocinar el lote de biodiésel.

6.6.1 Materiales e insumos para cocinar biodiésel

- Aceite bien filtrado y sin agua residual.
- Metanol e hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH).
- Tanque reactor (Imagen 14).
- Báscula digital y termómetro.
- Jarra y embudo de plástico.



Imagen 14. *Se muestra el tanque reactor con 100 litros de biodiésel, y en la parte inferior, una cubeta con el glicerol drenado.*

6.6.2 Procedimiento para cocinar el biodiésel

El procedimiento para la cocción del biodiésel consiste en tres pasos clave: A) Calentar el aceite; B) Elaborar el metóxido y C) Agregar el metóxido. A continuación, se explica cada paso.

A) Calentar el aceite

Para calentar el aceite, el primer paso es transferir el aceite del tanque de almacenaje al reactor, el cual ya cuenta con una resistencia instalada para calentar (Ver sección 5.3, figura 4). Con el aceite ya en el tanque de reacción, el siguiente paso es encender la fuente de calor y llevar la temperatura a 40 grados centígrados.

B) Elaborar el metóxido

La cantidad de catalizador o base, estipulada en la valoración previa conforme a las instrucciones del (Anexo 1), debe pesarse hasta obtener la cantidad exacta; posteriormente, esta base se agrega lentamente al metanol (Imagen 15). La reacción, al agregar la base al metanol, será

la formación de metóxido. Esta reacción libera calor y gas, por ello, es importante dejar un espacio libre en los contenedores al mezclar el metanol y la base, evitando así, que la presión por el gas aumente demasiado; por ejemplo, si utilizamos 20 L de metanol, se recomienda hacer la preparación en dos contenedores con capacidad para 20 L, para verter 10 L de metanol en cada contenedor. Para que la reacción se complete, se requiere agitar la mezcla durante algunos minutos hasta que se ha disuelto la base.

Nota: *Es importante recalcar que esta actividad debe realizarse en un espacio ventilado o abierto, siguiendo las precauciones señaladas, así como haber verificado, previamente, que los contenedores se encuentren en buenas condiciones para evitar derrames, y utilizar equipo de protección personal como guantes de nitrilo, goggles y mangas largas; ya que, tanto el metanol como el hidróxido de potasio, son corrosivos, volátiles, y su reacción conjunta, genera calor y gases.*



Imagen 15. *Se muestra al centro de la imagen el embudo utilizado para agregar las escamas de hidróxido de potasio, dentro de la garrafa con metanol.*

C) Agregar el metóxido al aceite

Una vez que la base se ha disuelto por completo en el metanol, el metóxido se encuentra listo para incorporar al reactor con aceite. Es importante considerar que, si el metóxido se agrega al aceite caliente, al mezclarlo, la temperatura de la mezcla se elevará 10°C o 15°C más. Por lo anterior, si el aceite en el tanque de reacción ya tiene una temperatura de 40°C grados, se puede agregar el metóxido caliente, siempre cuidando respetar el rango de temperatura óptima de reacción.

C.1) Rango de temperatura óptima para la reacción

La temperatura a la que debe mantenerse la reacción del aceite con el metóxido, debe ser de 55 grados para que la reacción sea eficiente, e incluso, la temperatura puede llegar hasta los 60 grados para tener un margen adecuado.

Una temperatura inferior a 50°C alentará la reacción y no dará resultados óptimos; y por el contrario, con una temperatura superior a 65°C se evapora el metanol. Si el metanol se evapora, este no estaría por completo disponible en el proceso, dando como resultado una reacción incompleta.

C.2) Recirculación y temperatura: forma correcta de medir la temperatura

Para medir de forma correcta la temperatura, es muy recomendable recircular la mezcla en el tanque de reacción; esto, con el objetivo de distribuir el calor de forma homogénea en el tanque, y de esta forma, conseguir que el termómetro tome una lectura que corresponda a toda la mezcla. De esta forma, evitamos una lectura de temperatura errónea al medir una temperatura menor, si el termómetro se ubica lejos de la fuente de calor, o mayor, si el termómetro se encuentra cerca de nuestra fuente de calor.

D) Tiempo requerido para que se complete la reacción

Después de agregar el metóxido al tanque de reacción con aceite, se debe dejar que la mezcla recircule en el tanque durante 2 a 3 horas, controlando la temperatura y asegurándose de que se mantenga entre 50 y 60°C todo el tiempo. Al término de este tiempo, la reacción habrá dado por resultado biodiésel y glicerol, pero hay que dejar reposar la mezcla (Imagen 16).



Imagen 16. *En la imagen se muestra un frasco con biodiésel y glicerol; ambos se separan de la siguiente forma: el biodiésel se queda en la parte superior y el glicerol en la parte inferior.*

PASO 7

Las actividades correspondiente en este paso 7, se continúan realizando en la Estación de Cocción de biodiésel (Estación 2).

6.7 Separación del glicerol



Para separar el glicerol asentado, después de al menos 24 horas de la reacción, se requiere abrir la válvula de drenado, instalada al final del tanque; en este momento, se observará salir un líquido café oscuro y espeso. Después de unos minutos, habrán salido aproximadamente 16 L de glicerol e iniciará la salida de biodiésel, que se distingue porque tiene un color amarillo oro; en este momento, debemos cerrar la válvula. De esta forma, en el tanque de reacción solo quedará el biodiésel, y en la cubeta o garrafa, habremos captado aproximadamente 16 L de glicerol (Imagen 17).

Imagen 17. *Se muestra el glicerol saliendo por la válvula de descarga del reactor.*

PASO 8

Las actividades descritas en el Paso 8 se realizan en la Estación Lavado de biodiésel (Estación 3).

6.8 Lavado del biodiésel

Para eliminar las impurezas del biodiésel crudo que se acaba de cocinar, es necesario lavarlo con agua. Puede sonar extraño lavar un líquido, pero gracias a

las propiedades químicas del biodiésel, si se hace pasar agua a través de él, las impurezas se separan y sedimentan, junto con el agua, en el fondo del tanque de lavado. De este modo, se puede separar las impurezas arrastradas por el agua, dejando el biodiésel limpio en la parte superior del tanque (Imagen 18).

6.8.1 Equipo y materiales

- Agua limpia.
- Tanque de lavado (ver sección 5.3 Figura 9).



Imagen 18. *Muestra el tanque de lavado y la manguera en la parte superior .*

6.8.2 Método de lavado

Transferir el biodiésel del tanque de reacción al tanque de lavado, ya con el biodiésel en el tanque de lavado, iniciará formalmente la fase 1 de lavado. Aproximadamente, para 100 litros de biodiésel se requieren entre 80 L y 100 L de agua para el lavado, divididos en 4 ó 5 lavados; sin embargo, no hay una cantidad exacta de agua para utilizarse ni un número o ciclos de lavado que deban realizarse. Estos vendrán determinados por lo bien que haya ido la cocción del biodiésel, el estado del aceite vegetal original, la cantidad de base utilizada, la calidad del agua, etc.

Nota: *Es importante asegurar que el agua que entra para el lavado del biodiésel esté filtrada y, por lo tanto, libre de sedimentos y minerales.*

Fase 1 de lavado

Si es posible, calienta el biodiésel sin lavar a unos 45 grados. Asegura que el agua a utilizar para lavar esté a una temperatura similar. El calentamiento no es estrictamente necesario, pero facilita el proceso. Durante el primer ciclo de lavado, rocía el agua lentamente; cuanto más fino sea el rociado de agua, mejor. Suponiendo que se vaya a lavar 100 L de biodiésel, utiliza 20 L de agua para rociar. Esto puede llevar hasta un par de horas. Una vez que se hayan rociado los 20 L de agua en el biodiésel, espera al menos 24 horas para que el agua se asiente en el fondo del tanque y luego sacar el agua mediante la válvula de drenaje. El agua del primer lavado contiene una alta concentración de base y otras impurezas, y no es recomendable recuperar esa agua o utilizarla para otra cosa.

Nota: *Recuerda que en esta fase, el objetivo es lavar lo más lentamente posible. Si el lavado se realiza demasiado rápido, en el biodiésel puede formarse jabón debido a la reacción del agua con la base que aún queda en el biodiésel. Esto puede lavarse, pero es mucho mejor evitarlo.*

Fase 2 de lavado

Repetir el mismo proceso que en el primer lavado. Lavar lentamente con nebulización fina, dejar reposar 24 horas o más, y abrir la válvula de drenaje para sacar el agua con impurezas del fondo del depósito.

Fase 3 de lavado

Antes de iniciar el tercer lavado, es necesario hacer una prueba de verificación del agua asentada (ver prueba del agua asentada en el anexo 2).
Si los resultados son aceptables, el tercer lavado puede ser más enérgico. Un lavado más enérgico significa utilizar la misma cantidad de agua (unos 20 L por cada 100 L de biodiésel), pero rociando con más presión, recirculando, burbujeando, etc. El objetivo de esta fase es conseguir que el agua y el biodiésel se mezclen por completo, para posteriormente, dejar reposar para asentar el agua. A medida que avanzan los ciclos de lavado, los tiempos de asentamiento pueden ser mucho más cortos, con la excepción del lavado final, asegurándose de que toda el agua se ha asentado.

Nota: *No es necesario calentar en esta fase el biodiésel y el agua.*

Fase 4 de lavado en adelante

Realizar el lavado como se hizo en el tercer lavado. A veces, pueden ser necesarios 5 ó 6 lavados para que el biodiésel quede limpio.

Nota: *Para reconocer cuándo hay que dejar de lavar, se pueden realizar algunas observaciones y pruebas que se describen en los Anexos 2 y 3.*

PASO 9

Este paso, consistente en la verificación de la calidad del biodiésel, se realiza en la Estación de laboratorio (Estación 5).

6.9 Verificación de la calidad del biodiésel

Existen diferentes pruebas que se pueden utilizar para verificar la calidad del biodiésel, entre ellas, están la prueba de humo y la prueba para evaluar la cantidad de jabón residual.

Prueba de humo

Al igual que con el aceite vegetal, es importante saber si queda agua en el biodiésel. Con un sartén caliente, añade una cucharada de biodiésel. Si humea, la prueba está superada. Si burbujea o chisporrotea, todavía hay agua en el biodiésel y necesita asentarse más tiempo en el tanque.

Prueba para evaluar la cantidad de jabón residual en el biodiésel

Después de lavar el biodiésel es necesario verificar que el jabón, que aún queda sin lavar, se encuentre en niveles bajos para evitar afectaciones futuras en los inyectores de los motores. Por ello, la cantidad de jabón residual en el biodiésel debe ser menor o igual a 60 partes por millón (ppm).

Nota: *Esta evaluación no se puede realizar a simple vista, por lo que se requiere utilizar el método de evaluación que se describe en el Anexo 4.*

PASO 10

Las acciones a realizar en este paso 10, que es el final del procedimiento para la elaboración del biodiésel, se realizan en la Estación de Almacenamiento y filtrado final (Estación 4).

6.10 Almacenamiento y filtrado final de biodiésel

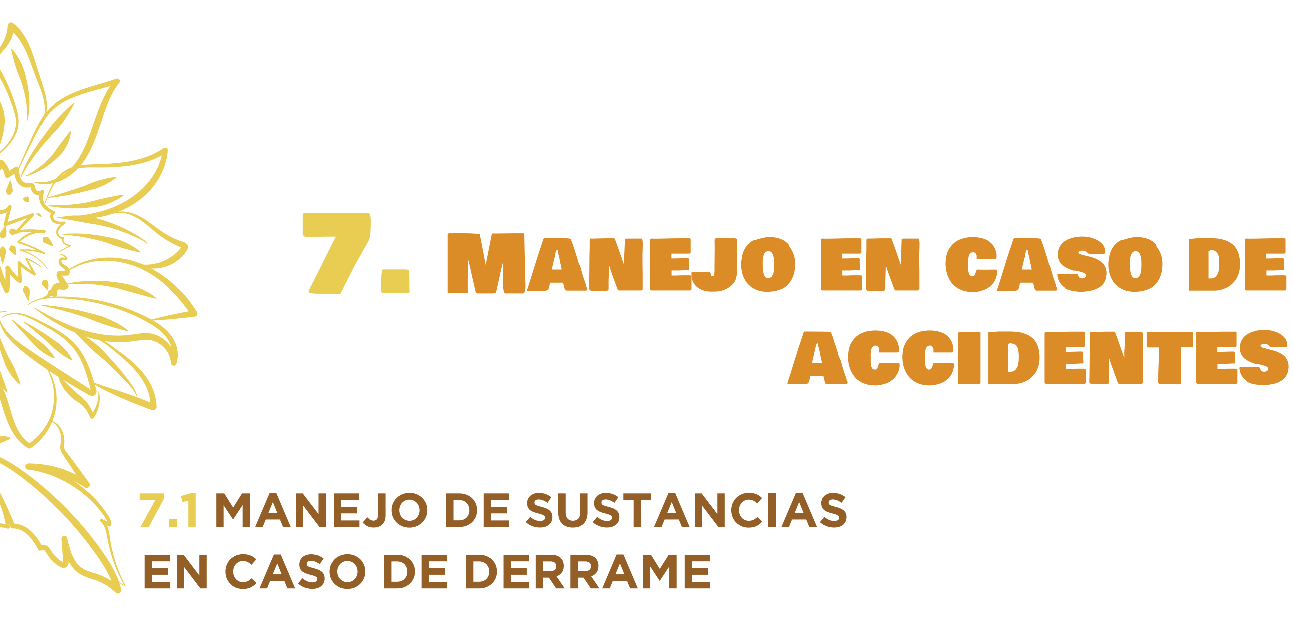
El biodiésel lavado, y con la calidad adecuada, ya se puede transferir al tanque de almacenamiento correspondiente. En este tanque, el biodiésel se puede almacenar alrededor de 6 meses (Imagen 19). El tanque de almacenamiento debe estar en un lugar fresco y fuera del contacto con los rayos de sol (ver sección 5.5, Figura 10).

Antes de utilizar el biodiésel almacenado, se debe pasar por dos filtros para quitar impurezas sólidas y agua residual. Esta tarea se facilita utilizando una electrobomba que permite sacar con facilidad el biodiésel del tanque de almacenamiento, pasarlo por los filtros, para luego utilizarlo como combustible en cualquier maquinaria a diésel. Es recomendable utilizar filtros especializa-

dos para biodiésel, como los antes recomendados de la marca Goldenrod, el Bio-Flo 497 de 10 micrones para sólidos y el Water-Block 496 para agua (ver sección 5.5, figura 10, letra B). Ya pasando estos últimos filtros, el biodiésel se puede suministrar directamente al vehículo diésel o cualquier motor diésel para su uso.



Imagen 19. *Tanque de almacenamiento de biodiésel, conectado con los dos filtros del biodiésel que se muestran en la parte superior.*



7. MANEJO EN CASO DE ACCIDENTES

7.1 MANEJO DE SUSTANCIAS EN CASO DE DERRAME

Aceite vegetal. Evitar dejar en el piso el aceite derramado, ya que es muy fácil deslizarse en un charco de aceite. En caso de derrame, se puede recolectar con recogedor o limpiar con jergas; si es posible, hay que reutilizar este aceite.

Hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH). Dado que es una producción a pequeña escala, la cantidad de base almacenada recomendable son máximo 5 kilos; por lo tanto, si se llegara a caer alguna de estas bases, basta con colocarse el equipo de protección y utilizar un recogedor para recolectar las escamas de base que se hubieran regado. Si es posible, reutilizar o reprocesar.

Metanol. Colocarse el equipo de protección individual y evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa. No respirar los vapores/aerosoles. Ventilar la zona afectada y mantener el producto alejado de los desagües, así como de las aguas superficiales y subterráneas.

Absorber con una substancia aglutinante de líquidos (arena, harina fósil, aglutinante de ácidos, aglutinante universal) y colocar el metanol derramado en recipientes apropiados para su eliminación.

En el caso de derrames pequeños, el líquido puede absorberse con papel y llevarse a un área segura para su incineración o evaporación, después lavar el área con agua. Retener y eliminar el agua de lavado contaminada.

En el caso de cantidades pequeñas, el metanol puede dejarse evaporar o incinerarse en áreas seguras.

7.2 PRIMEROS AUXILIOS

Como se ha mencionado en el presente manual, existen algunas recomendaciones a seguir para evitar exposición accidental a ciertas sustancias que pueden poner en riesgo la salud. A continuación, se presentan los primeros auxilios básicos.

7.2.1 Primeros auxilios en caso de exposición accidental al hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH)

En caso de exposición al hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH), cuya presentación es en escamas, es necesario seguir inmediatamente las siguientes indicaciones:

1. Primero, quitar suavemente la mayor cantidad de escamas que hayan sido derramadas.
2. Lavar inmediatamente la piel con agua fría durante al menos 15 minutos.
3. Asegurarse de quitar toda la ropa contaminada.
4. Una vez que la lejía se haya enjuagado por completo, aplicar un emoliente, como aloe vera, aceite de jojoba o manteca de cacao sobre la quemadura.
5. En caso de lesiones graves, acudir inmediatamente al médico.

7.2.2 Primeros auxilios para diferentes tipos de exposición al metanol

En caso de exposición a metanol, es necesario seguir inmediatamente las siguientes indicaciones:

Contacto con los ojos: Lavar los ojos con agua tibia durante al menos 15 minutos y buscar inmediatamente atención médica.

Contacto con la piel: Retirar la ropa y lavar bien la zona afectada de la piel con agua y jabón; cubrir todas las heridas abiertas; cubrir al paciente para evitar el shock y pérdida de calor corporal; buscar inmediatamente atención médica.

Ingestión: No forzar al paciente a vomitar; comprobar la respiración, el ritmo cardíaco y la presión sanguínea para asegurar correcto funcionamiento pulmonar y cardiovascular; buscar atención médica inmediatamente.

Inhalación: Comprobar las funciones respiratoria y cardiaca; administrar oxígeno en caso de falta de aire o dificultades respiratorias; si la respiración se detiene, administrar respiración artificial; buscar inmediatamente atención médica.



8. GESTIÓN DE SUBPRODUCTOS DEL BIODIÉSEL

Durante el proceso de elaboración de biodiésel se obtienen subproductos residuales; a continuación, se describen dos de ellos.

Glicerol: Este residuo de la producción de biodiésel, es completamente aprovechable. Es de destacar que, al transformar el glicerol en otros productos, logramos evitar que la producción de biodiésel genere residuos o desechos. Entre los productos en los que hemos transformado el glicerol están: jabón, insecticidas orgánicos, fertilizante, desengrasante y glicerina. También es de destacar que, mediante destilación del glicerol, hemos logrado recuperar parte del metanol que no entró en la reacción, y este metanol se recicla al entrar de nuevo en la producción de biodiésel.

Agua de lavados (en el caso de KOH): El agua del primer lavado contiene metanol y restos de KOH, por lo que es recomendable realizar la destilación de esta agua residual y así recuperar el metanol. Con el agua del segundo hasta la del último lavado, es posible utilizarla para regar un cultivo de plantas de higuerilla, para posteriormente obtener aceite como insumo.



9. Normativas y regulaciones a considerar

ASTM International (ASTM)

Anteriormente conocida como la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales, es una organización internacional de estándares que se encarga de desarrollar y publicar normas técnicas consensuadas para una amplia variedad de materiales, productos, sistemas y servicios. El estándar ASTM D6751 hace referencia al conjunto de pruebas realizadas con biodiésel.
https://www.astm.org/d6751-24.html

Gestión de residuos

En México, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable, a través de la prevención, de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación.
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf

Referencias

Agronegocios, Industria alimentaria y Turismo de Naturaleza [ANEIA]. (2014). *Petróleo vs biocombustibles.* https://aneia.uniandes.edu.co/petroleo-vs-biocombustibles/#:~:text=El%20uso%20de%20aceites%20vegetales%20para%20el,el%20carb%C3%B3n%20de%20nuestros%20d%C3%ADas%E2%80%9D%20Rudolf%20Diesel.

Energy Information Administration [EIA]. (2022). *Biofuels explained: Data for the United States for 2022*. https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels/data-and-statistics.php

HLPE. (2013). *Los biocombustibles y la seguridad alimentaria: Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial*.https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report-5_ES.pdf

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Agitador magnético. Durante la operación de un agitador magnético típico, la barra magnética de agitación "frijol o bala magnética" es deslizada dentro de un contenedor, ya sea un matraz o vaso de precipitados de vidrio, conteniendo algún líquido para agitarlo. El contenedor es colocado encima de la placa, en donde los campos magnéticos o el imán giratorio ejercen su influencia sobre el recubierto y propician su rotación mecánica.

Alcalino. El adjetivo alcalino se emplea para calificar a aquello que dispone de álcali. Un álcali es un hidróxido de tipo metálico que actúa como base fuerte y que presenta una gran solubilidad al estar en el agua. Una solución que tiene un pH superior a 7.

Bioeconomía. Es la utilización intensiva de conocimiento sobre los recursos, los procesos, las tecnologías y los principios biológicos para la producción sostenible de bienes y servicios en todos los sectores de la economía.

Biomasa. En el contexto energético, puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Bomba para pipeta. Es un instrumento de laboratorio esencial que se utiliza, junto con las pipetas, para transferir líquidos de un recipiente a otro de manera precisa y segura. Su función principal es evitar que se succionen líquidos con la boca, especialmente cuando se trata de sustancias nocivas, tóxicas, corrosivas o con olores fuertes que puedan ser perjudiciales.

Catalizador. Es una sustancia que afecta, promueve o acelera la reacción entre dos o más sustancias para generar un producto final diferente.

Corrosivo. Sustancias corrosivas capaces de destruir o dañar de modo irreversible aquellas superficies con las que entran en contacto.

Exposición a sustancias tóxicas. Cuando se tiene contacto con alguna sustancia tóxica, la persona está expuesta y el efecto de dicha exposición dependerá de:

- a) La duración del contacto;
- b) El mecanismo mediante el cual el tóxico penetra en el cuerpo;
- c) De la cantidad del tóxico que la persona pueda eliminar.

Exposición aguda. Es el contacto con el agente tóxico por unos segundos, minutos u horas, y hasta un día como máximo.

Exposición crónica. Contacto prolongado, constante o intermitente a una sustancia, que puede afectar a la salud a lo largo del tiempo.

Extractivismo. Es un modelo económico que consiste en explotar los recursos naturales, con impactos como el desplazamiento de poblaciones agrarias, degradación y contaminación de los recursos naturales, así como emisión de gases invernadero

Fitorremediador. Son determinadas plantas que, por sus características particulares, se pueden utilizar para absorber, fijar e inmovilizar contaminantes del suelo, agua, aire o sedimentos.

Guantes de nitrilo. Son aptos para cualquier tipo de manipulación de alimentos, trabajos químicos o sanitarios. Son perfectos para mantener las manos a salvo de bacterias, virus o sustancias contaminantes y nocivas para la piel, al mismo tiempo que proporcionan alta comodidad y precisión.

Micrones. El micrómetro, micrón o micra es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro. Su símbolo es µm.

Partes por millón (ppm). Es una unidad de medida con la que se mide la concentración. Determina un rango de tolerancia. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia (agente, etc.) que hay por cada millón de unidades del conjunto.

Pipetas. Las pipetas graduadas están calibradas en unidades, lo cual permite mediar la transferencia de cualquier volumen desde 0.1 a 25 ml.

Polietileno de alta densidad. Se trata de un material incoloro y casi opaco. La rigidez y resistencia del polietileno son sus principales ventajas. Se trata de un material resistente a los impactos, a la tracción y a las temperaturas altas y bajas. Su resistencia no solo es física, ya que no es atacado por los ácidos o el disolvente.

Sostenible. Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente.

Transesterificación. Reacción química que convierte triglicéridos (aceite) en ésteres de ácidos grasos (biodiésel) y glicerol. Para que ocurra la transesterificación, se mezcla el alcohol (metanol) con un catalizador, como una base fuerte como $NaOH$ o KOH. El alcohol con el catalizador se hace reaccionar con el ácido graso (aceite) y se produce la reacción de transesterificación.

Vaso de precipitado. Tiene forma cilíndrica y posee un fondo plano, con una pequeña boca en la parte de arriba para poder transferir el líquido que contiene con mayor facilidad. Pueden ser de vidrio Pyrex, vidrio común o de plástico. Suelen estar graduados, de acuerdo al volumen que poseen: 10 ml, 25 ml, 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml, 1 L, 2 L.

Volátil. Que es susceptible de transformarse en vapor o gas espontáneamente.

ANEXOS



ANEXO 1

MÉTODO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE GRAMOS DE CATALIZADOR (BASE) QUE HAY QUE ADICIONAR AL METANOL

Materiales e insumos para determinar cuántos gramos de base agregar al metano:

- 1 agitador magnético.
- Pipeta de 10 ml o 1 jeringa de 10 ml.
- Pipeta de 1 ml o 1 jeringa de insulina.
- Bomba dosificadora para pipeta.
- 3 frascos con tapa de 100 ml (se venden en cualquier farmacia).
- 1 litro de alcohol isopropílico.
- 1 gotero de 30 mililitros de Fenolftaleína 1%.
- Aceite vegetal recolectado para su transformación en biodiésel.
- 1 litro de solución de titulación[1] de la base que decidamos emplear.

Procedimiento

a) En un vaso de precipitado o frasco con tapa, agregar 10 ml de alcohol isopropílico (Imagen 20a).



Imagen 20a. *Vaso de precipitado con 10 ml de alcohol isopropílico.*

1 Modo de preparación de la solución de titulación.
La solución de titulación se prepara utilizando la base que se decidió utilizar, puede ser KOH o NaOH.
- Solución de titulación para la base de KOH. Para preparar la solución: pesar 1 gramo de KOH y agregar a 1 litro de agua destilada. Agitar hasta disolver.
- Solución de titulación para la base de NaOH. Para preparar la solución: pesar 1 gramo de NaOH y agregar a 1 litro de agua destilada. Agitar hasta disolver.



b) Con la pipeta graduada de 10 ml o jeringa, utilizando la bomba dosificadora, tomar 1 ml de nuestro aceite a evaluar y agregarlo en el vaso de precipitado con el alcohol. Colocar la barra magnética y encender el agitador (Imagen 20b).

Imagen 20b. *Vaso de precipitado con alcohol, después de agregar 1 ml de nuestro aceite y agitar.*

c) Agregar a la mezcla anterior unas 3 o 4 gotas del gotero de fenolftaleína 1%, colocar la tapa y encender el agitador.

d) Utilizando la bomba dosificadora con la pipeta graduada de 1 ml, tomar 10 mililitros de la solución de titulación y lentamente agregarla por gotas a la solución en el vaso; el agitador debe estar encendido y con la barra magnética girando.



Cuando la mezcla inicie el cambio a un color rosado debemos seguir agregando lentamente gotas hasta que logremos observar un color rosa o morado intenso y permanente. En este momento, debemos dejar de agregar nuestro solución de titulación y verificar en la marca de la pipeta graduada, cuántos mililitros de la solución requerimos para llegar al cambio sostenido de color. Los mililitros de la solución de titulación requeridos para llegar al cambio de color, equivalen a la cantidad de gramos que debemos adicionar al peso de la base requerido para un litro de aceite (Imagen 20c).

Imagen 20c. *Se observa el cambio a color rosa en la solución del vaso de precipitado, después de agregar algunas gotas de la solución de titulación.*

Por ejemplo, si obtuvimos que se requiere 1.2 ml de solución de titulación, sumaremos 1.2g a la cantidad de gramos que se deben agregar de forma estandarizada por litro de aceite, la cual es de 5.5g para la base NaOH y de 7.0 g para la base KOH, quedando de la siguiente forma:

1.2 + 5.5g de NaOH = 6.2g de NaOH por litro de aceite

1.2 + 7.0g de KOH = 8.2g de KOH por litro de aceite

Todavía este resultado se debe de dividir entre el porcentaje de la pureza de la base que, dependiendo del fabricante, y que en nuestro caso hemos encontrado productos con pureza de 98% para el hidróxido de sodio (NaOH) y 90% para el hidróxido de potasio (KOH), quedando de la siguiente forma:

6.2g de NaOH ÷ 0.98 = 6.3g de NaOH por litro de aceite

8.2g de KOH ÷ 0.90 = 9.1g de KOH por litro de aceite

Finalmente, el resultado obtenido son los gramos de base requeridos para transformar un litro de nuestro aceite colectado en biodiésel. Pero si queremos cocinar 100 L de aceite, debemos multiplicar el resultado obtenido para un litro por 100. Quedando de la siguiente forma:

6.3g de NaOH * 100 = 630g de NaOH

9.1g de KOH * 100 = 910g de KOH

Este resultado ya son los gramos de base (NaOH o KOH) requeridos para fabricar 100 litros de biodiésel.

ANEXO 2

PRUEBA DE LA VERIFICACIÓN DEL AGUA ASENTADA EN LA FASE DE LAVADO

Esta prueba nos permite ir verificando el progreso en la calidad del biodiésel durante cada etapa del lavado.

Materiales

- Frasco de vidrio con tapa de 100 o 200 ml.
- Muestra del agua drenada en la fase que estemos lavando.

Procedimiento

Sacar del tanque de lavado una muestra del agua en la etapa que estemos lavando; colocar la muestra en un frasco y verificar qué tan turbia está el agua. Durante la primera lavada es normal que el agua que drenamos esté muy turbia; después de la segunda lavada si el agua ya está menos turbia, podemos pasar a la tercera lavada. Finalmente, el agua asentada no debe estar turbia para indicar que ya podemos dejar de lavar el biodiésel.

Anexo 3

PRUEBA DE LA AGITACIÓN DEL BIODIÉSEL AGREGANDO AGUA

Esta prueba nos permite verificar de forma preliminar si en nuestro biodiésel queda algún resto de jabón, u otros contaminantes.

Materiales

- Dos frascos transparentes con tapa (de 150 mililitros aproximadamente).
- Biodiésel lavado a evaluar.
- Agua limpia.

Método

Para realizar esta prueba, se requiere agregar en un mismo frasco con tapa, una parte de biodiésel y una parte de agua. Agitar el frasco y esperar cinco minutos; si se observan claramente la separación de dos colores en el frasco, biodiésel arriba y agua abajo, igual de clara que como fue agregada, esto significa que el biodiésel ya no tiene impurezas y, por lo tanto, no aparece nada en el agua. Una vez superada esta prueba, es probable que hayas terminado de lavar. Si después de realizar la misma prueba, el agua aparece turbia, significa que aún quedan impurezas o restos de jabón en el biodiésel y, por lo tanto, debemos de continuar lavando el biodiésel. En la Imagen 21, se muestran dos frascos con biodiésel y agua. En el frasco de la derecha, que contiene biodiésel recolectado del segundo lavado, se agregó agua y se agitó; tras unos minutos, el agua asentada se ve muy turbia. En contraste, en el frasco de la izquierda, con biodiésel del quinto lavado, el agua asentada es transparente.



Imagen 21. *Frascos con agua y muestra de biodiésel del segundo y quinto lavado.*

Nota: *Para asegurar que las impurezas o jabón formado se encuentren en niveles aceptables, es importante realizar otra prueba, la cual se describe en el Anexo 4.*

Anexo 4

PRUEBA PARA EVALUAR LA CANTIDAD DE JABÓN RESIDUAL EN EL BIODIÉSEL

Materiales y equipo

- 100 ml de alcohol isopropílico.
- Indicador bromophenol blue (agregar gotas hasta el cambio de color).
- 1 ml de ácido clorhídrico 0.0100 normal.
- Bomba dosificadora para pipeta.
- 1 vaso de precipitado de 200 ml, o como opción un vaso para medir 200 ml.
- 1 pipeta de 10 ml y de 1 ml, o como opción jeringas estándar y de insulina.
- 1 agitador magnético.

Procedimiento para medir la cantidad de jabón residual

1) Medir y agregar 100 ml de alcohol isopropílico en un vaso de precipitado (Imagen 22a).

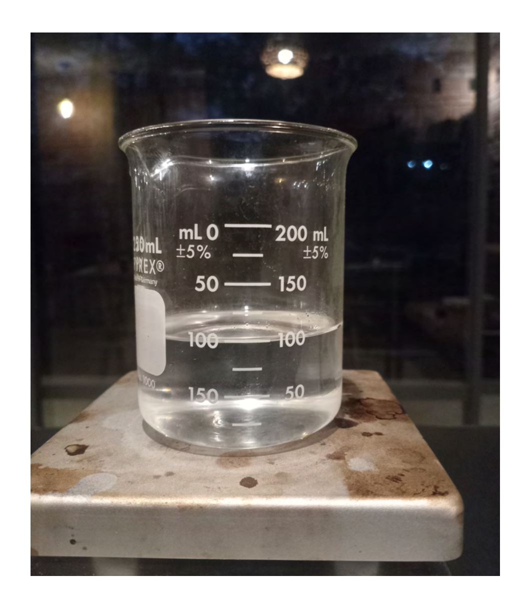


Imagen 22a. *Vaso de precipitado con 100 ml de alcohol.*

2) Colocar el vaso de precipitado en el agitador mecánico y sumergir la pastilla magnética en el vaso; encender el agitador.

3) Agregar en el vaso de precipitado, ya con los 100 ml de alcohol, unas gotas de indicador Bromophenol Blue, hasta observar que el color transparente del alcohol cambia a color azul (Imagen 22b).

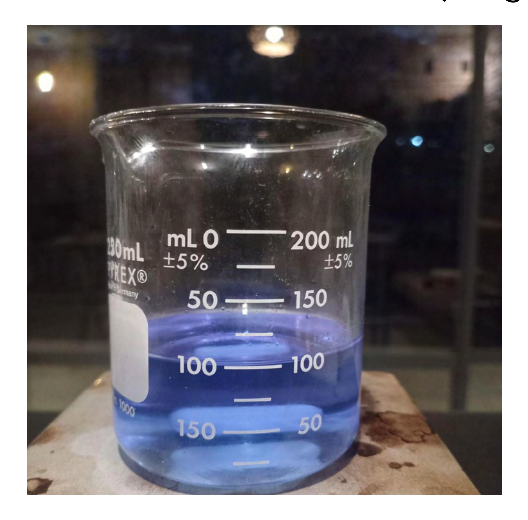


Imagen 22b. *Se muestra el mismo vaso de precipitado, después de agregar gotas de Bromophenol Blue, con el consecuente cambio a color azul*.

4) En el mismo vaso de precipitado, continuar agitando y agregar, con la bomba dosificadora y pipeta, 12 ml de biodiésel (Imagen 22c). Después de agregar los 12 ml de biodiésel, es posible que se observe en la solución un cambio en su tonalidad azul (Imagen 22d).



Imagen 22c. *Se muestra el momento en que se agrega con la pipeta el biodiésel.*

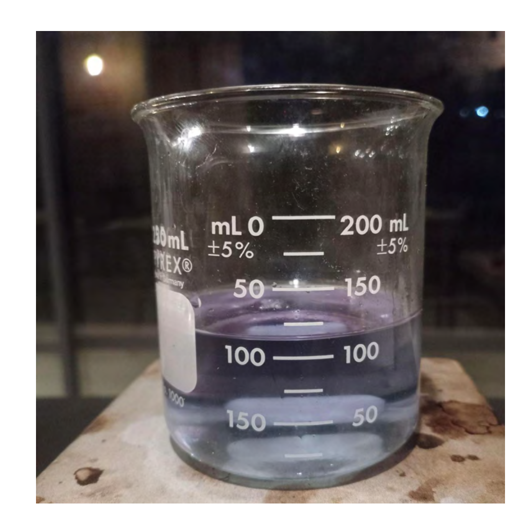


Imagen 22d. *Se muestra el mismo vaso de precipitado, después de agregar 12 ml de biodiésel; se observa un cambio ligero en la tonalidad azul.*



5) Continuar agitando, y con la bomba dosificadora y pipeta de 1 ml, agregar lentamente gotas de ácido clorhídrico 0.0100 normal, hasta observar que la mezcla del vaso cambia a color amarillo (Imagen 22e).

Imagen 22e. *Se muestra el cambio de color de azul a amarillo en la solución.*

6) Anotar las décimas de mililitro o mililitros de ácido clorhídrico que adicionamos hasta obtener el color amarillo.

7) Multiplicar las décimas de mililitro o mililitros de ácido clorhídrico agregadas, por un factor de 304; si el resultado de esta multiplicación es menor o igual a 60 ppm significa que hay menos o hasta 60 ppm de jabón residual.

Por ejemplo: si para cambiar a un color amarillo agregamos 0.15 ml de ácido clorídrico, este valor se multiplica por 304; en este ejemplo se obtiene como resultado 45.6 ppm lo cual indica que el biodiésel contiene 45.6 ppm de jabón residual y, por lo tanto, en este ejemplo el nivel de jabón es aceptable.



2025


CITSAC
Centro de Investigación en Tecnologías
y Saberes Comunitarios


RHIZOMATICA